



รายงานการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา
โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

**A Comparative Study of the Growth and Protection Fungal
of Cucumber by Zinc Oxide Nanoparticles**

สุปราณี พิศมัย
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา
โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

A Comparative Study of the Growth and Protection Fungal
of Cucumber by Zinc Oxide Nanoparticles

สุปราณี พิศมัย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป
คณะครุศาสตร์

ทุนอุดหนุนโดยงบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2559

ชื่องานวิจัย การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา
โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

A Comparative Study of the Growth and Protection Fungal
of Cucumber by Zinc Oxide Nanoparticles

ผู้วิจัย สุปราณี พิสมัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทั่วไป

คณะ คณะครุศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีที่เสร็จวิจัย 2559

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการป้องกันโรคราแป้งของแตงกวาโดยใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยกำหนดความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 4, 8, 12 และ 16 กรัม/ลิตร ผู้วิจัยการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน คือ 1) การศึกษาการเจริญเติบโตของแตงกวาเมื่อรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ และ 2) การศึกษาการป้องกันโรคราแป้งของแตงกวาเมื่อนิคมด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยดำเนินการ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 2.1) การเพาะเลี้ยงเชื้อรา และ 2.2) การทดสอบฤทธิ์สารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ทดสอบโดยวิธี Poisoned Food Technique

ผลการวิจัยพบว่า

1. การศึกษาการเจริญเติบโตของแตงกวาเมื่อรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร มีการเจริญเติบโตมากที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มข้น 16, 4, และ 12 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และต้นแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด
 2. การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 16 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด (ร้อยละ 54.36) รองลงมาคือความเข้มข้น 12 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 52.68) ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 49.72) และความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 48.07) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของความเข้มข้นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05
- คำสำคัญ:** นาโนซิงค์ออกไซด์ โรคราแป้ง การยับยั้งเชื้อรา แตงกวา

Title A Comparative Study of the Growth and Protection Fungal
of Cucumber by Zinc Oxide Nanoparticles

Authors Supranee Pitsamai

Major Field Education of General Science

Faculty Education
Phetchabun Rajabhat University **Success** 2559

Abstract

The objective of the project was to study on the growth and protection fungal the water with cucumber mixture of ZnO Nanoparticles. Three concentration 4, 8, 12 and 16 g/l of ZnO nanoparticles was applied. The methodology consisting of 1) a study on the growth the water with cucumber mixture of ZnO Nanoparticles. 2) protection fungal the water with cucumber mixture of ZnO Nanoparticles. The methodology consisting of 2.1) fungal culture, 2.2) antifungal test by poised food technique .

The research findings were the following: 1) A study on the growth the water with cucumber mixture of ZnO Nanoparticles. At a concentration of 8 g/l with the most growth, followed by the concentration of 16, 4, 12 g/l, and cucumbers that non ZnO nanoparticles, respectively. 2) The protection fungal the water with cucumber mixture of ZnO Nanoparticles. the highest inhibitory percentage (54.36%) of ZnO nanoparticles was a concentration of 16 g/l followed by 12 g/l (52.68%), 8 g/l (49.72%), and 4 g/l (48.07%), respectively the comparison of the concentrations used by statistical test found that it was significant different at 0.05 level.

Keywords: ZnO nanoparticles, Powdery mildew , Antifungal, Cucumber

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่างๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเกษตรกรผู้ปลูกแตงกวาในจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

สุปราณี พิศมัย

28 กันยายน 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แดงกวา	4
2.2 วัสดุนาโน	12
2.3 ข้อมูลแสดงความเป็นพิษของสารนาโนซิงค์ออกไซด์	19
2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	32
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	34
3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์	36
บทที่ 4 ผลการวิจัย	37
4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแดงกวา	37
4.2 การศึกษาการยับยั้งเชื้อราของเมื่อนิคม์นาโนซิงค์ออกไซด์	43
4.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์	46
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแดงกวา	47

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผล	49
5.2 อภิปรายผล	50
5.3 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก แสดงการดำเนินงาน	55
ภาคผนวก ข ข้อมูลการเจริญเติบโตต้นแตงกวา	62
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากเครื่อง SEM	65
ภาคผนวก ง ข้อมูลแสดงพิษวิทยาของสารนาโนซิงค์ออกไซด์	75
ประวัติคณะผู้วิจัย	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดและลักษณะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ	22
4.1 แสดงผลการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของแตงกวา	31
4.2 แสดงการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา	37
4.3 แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและการเปรียบเทียบ ความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)	38
4.4 แสดงผลผลิตของแตงกวา	39
4.5 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแตงกวาด้วยเครื่อง SEM	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นสารทดสอบมาตรฐานในการหาความเป็นพิษของ OECD	22
2.2 แสดงไร่น้ำจากการถ่ายภาพโดยใช้ optical light microscope และ CARs	24
2.3 แสดงตับอ่อนของสัตว์ในกลุ่มกึ่งจาก Light microscope	25
2.4 แสดงซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วย Transmission Electron	26
2.5 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่อง SEM	27
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ	28
2.7 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว	29
3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย	26
4.1 แสดงข้อมูลการเจริญเติบโต	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แตงกวาเป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงโม พักทอง บวบ มะระ น้ำเต้า ซึ่งมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศ มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้น หลังจากปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับรายได้จากการปลูกแตงกวากับพืชอื่นๆ หลายชนิดแล้ว แตงกวาเป็นพืชหนึ่งที่สามารถทำรายได้ดีมาก และในแตงกวา 100 กรัม ประกอบไปด้วยวิตามินซีประมาณ 20 มิลลิกรัม ช่วยให้ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นตัวการเร่งความแก่ในร่างกายได้และมีเส้นใยอาหาร 0.7 กรัม จึงดีต่อระบบขับถ่าย แตงกวายังมีเบตาแคโรทีนที่มีบทบาทสำคัญต่อดวงตาด้วยและแตงกวายังเป็นผักที่มีฤทธิ์เย็นสรรพคุณของแตงกวา เช่น เป็นยาระบายอ่อน ๆ ช่วยขับปัสสาวะ ขับเหงื่อ ขับน้ำนมและลดไข้และความที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 96.1 แตงกวาจึงมีสรรพคุณช่วยให้ร่างกายสดชื่นสำหรับในแง่ของผู้บริโภคแล้วแตงกวาที่สามารถนำไปปรุงอาหารได้มากมายหลายชนิด เช่น การนำไปแกงจืด ผัด จิ้ม น้ำพริก หรืออาจแปรรูปเป็นแตงกวาดอง จะเห็นได้ว่าแตงกวาเป็นพืชที่เข้ามามีบทบาทต่อการค้าทั้งในและต่างประเทศ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตแตงกวาที่สำคัญคือราแป้งขาวซึ่งเป็นโรคที่ระบาดแพร่หลายมากที่สุดโรคหนึ่งจะพบได้ในทุกท้องถิ่นที่มีการปลูกแตงและเกือบทุกสภาพอากาศผิวกับโรคน้ำค้างคือต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าและความชื้นเพียงเล็กน้อยในระดับปกติก็เกิดและเจริญเติบโตสร้างความเสียหายได้ โดยเชื้อราจะเข้าทำลายและเจริญเติบโตได้บนทุกส่วนของต้นแตงที่อยู่เหนือดินโดยจะเกิดอาการเป็นผงหรือฝุ่นแป้งสีขาวขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วไปตรงจุดที่เกิดโรคในระยะแรกเมื่อเชื้อตรงที่เกิดอาการขึ้นนี้จะไม่แสดงอาการผิดปกติใดๆ จนกระทั่งเป็นมากเชื้อราขึ้นคลุมไปหมด สีของต้นเถาหรือใบจะค่อยๆ ซีดเหลืองแล้วแห้งในเวลาต่อมา โดยเฉพาะถ้าเป็นส่วนที่ยังอ่อนอยู่อาจจะตายได้ สำหรับลูกหรือผลแตงอาการโรคจะเกิดขึ้นน้อยกว่าบนต้นและใบนอกจากพวกที่ติดโรคง่าย เช่น แตงโม แคนทาลูป และแตงร้าน ในรายที่เกิดโรครุนแรงและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมก็จะเกิดโรคขึ้นที่ลูกได้เช่นกันและอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ถ้าเป็นในระยะที่ลูกยังเล็กหรืออ่อนอยู่โดยจะทำให้เกิดอาการแกร็น บิดเบี้ยว เสียรูปทรงผิวขรุขระ เป็นตุ่ม

หรือแผลขึ้นที่เปลือกส่วนในลูกที่เจริญเติบโตเต็มที่เมื่อเป็นโรคก็จะทำให้เกิดความไม่น่าดูผลผลิตขาดคุณภาพและขายไม่ได้ราคา

ปัจจุบันวัสดุนาโนเป็นวัสดุที่กำลังดึงดูดความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกในช่วงทศวรรษนี้อย่างมากมายและเป็นไปด้วยความรวดเร็วอย่างที่วัสดุอื่นๆ ไม่เคยได้รับมาก่อน สาเหตุสำคัญอาจจะเนื่องมาจากศักยภาพของวัสดุนาโนที่สามารถทำการปฏิวัติงานด้านวัสดุศาสตร์ให้เกิดขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาล อย่างเช่นนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี มีคุณสมบัติเด่นในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ทั้งยังประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรได้หลากหลายไม่ว่าจะใช้คลุมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก นำไปใช้ฉีดพ่นป้องกันโรคพืชและแมลงที่ลำต้น ราก หรือแม้แต่ใบ เหมาะที่จะส่งเสริมให้มีการนำมาใช้เพื่อทดแทนสารเคมีในระยะยาวและนำความรู้ทางด้านนาโนเทคโนโลยีเข้าไปประยุกต์ใช้กับงานเกษตรกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการยับยั้งการเกิดโรคราแป้งของแตงกวา ผู้วิจัยหวังว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการกำจัดเชื้อราและลดการใช้สารเคมีให้น้อยลง และสามารถเพิ่มผลผลิตของแตงกวาได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและป้องกันเชื้อราของแตงกวาที่รดด้วยสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านตัวแปร แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแตงกวา

ตัวแปรต้น คือ ความเข้มข้นของสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

ตัวแปรตาม คือ การเจริญเติบโตของต้นแตงกวา

ตัวแปรควบคุม คือ ชนิดดินที่ใช้ในการเพาะแตงกวา พื้นที่ที่ใช้ในการปลูก
แตงกวาปริมาณของน้ำ และสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่
ใช้รดแตงกวาแต่ละครั้ง

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ตัวแปรต้น คือ สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

ตัวแปรตาม คือ ปริมาณเชื้อราบนใบแตงกวา

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.1 ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแตงกวาที่รดด้วยสารผสมนาโน
ซิงค์ออกไซด์

1.2 ศึกษาการใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ยับยั้งการเกิดเชื้อราบนใบ
แตงกวา

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

poisoned food technique คือ การที่ผสมสารลงไปเพื่อทำให้อาหารเกิดความเป็นพิษใน
อาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อทำการทดสอบ

สารนาโนซิงค์ออกไซด์ คือ ผลิตภัณฑ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เผยแพร่ในวารสารของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
2. ผลการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกแตงกวา สามารถ
นำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตแตงกวา
3. สามารถต่อยอดการทดลองไปยังพืชเศรษฐกิจอื่นๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 แตงกวา
- 2.2 วัสดุนาโน
- 2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แตงกวา (เฉลิมเกียรติ โกคาวัฒนา และ ภัสรา ชวประดิษฐ์, 2539)

ชื่อวิทยาศาสตร์ Cucumis Sativus Linn.

ชื่อสามัญ Cucumber

วงศ์ CUCURBITACEAE

ชื่ออื่นๆ ผักแคบ (ภาคเหนือ) แคเตี๊ยะ (กระเหรี่ยงและแม่ฮ่องสอน) ตำลึง, สีสบาท (ภาคกลาง)

ผักตำนิน (ภาคอีสาน)

ลักษณะ :

แตงกวาเป็นพืชเถาเลื้อยที่มีมือเกาะ ช่วยพยุงลำต้น ลำต้นเป็นเหลี่ยมมีขนขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วไป ลำต้นขยายประมาณ 2-3 เมตร มีรากแก้ว ใบเป็นใบเดี่ยว มีมุมแหลม 3-5 แฉก ดอกเป็นดอกตัวผู้ และตัวเมียแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน ดอกตัวผู้จะเกิดเป็นกลุ่ม 3-5 ดอก ดอกตัวเมียจะเกิดเดี่ยวๆ มีสีเหลือง สังกะสีได้ง่าย คือมี ลักษณะคล้ายแตงกวาผลเล็ก ๆ ติดกับกลีบดอก ส่วนดอกตัวผู้จะมีเฉพาะก้านดอกเท่านั้น ในการปลูกแตงกวา ถ้ามีดอกตัวเมียมากจะทำให้ได้ผลผลิตสูง

ผลในขณะยังเล็กจะสังเกตเห็นหนามได้อย่างชัดเจน หนามของแตงกวาจะมีสีขาว และสีดำ แตงกวาหนามสีดำจะเก็บได้เพียง 3-4 วัน หลังเก็บจากต้น ผลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง นิยมไม่กรอบ ส่วนแตงกวา ที่มีหนามสีขาวจะมีคุณสมบัติพิเศษ เก็บไว้ได้นานประมาณ 7 วัน โดยไม่นิ่มและไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร็ว

เนื้อผลของแตงกวาเป็นยาทางผิวหนัง เพราะในแตงกวามีสารกลูซิติก กรดอะมิโน และเกลือแร่ต่างๆ ช่วยกักเก็บความชุ่มชื้นไว้ได้ผิวหนัง ในขณะที่สาร ซิสติน (cystin) และสารเมธิโอนิน (methionin) ทำหน้าที่ให้ความยืดหยุ่นแก่ผิวหนัง ผลแตงกวาเมื่อนำมาวิเคราะห์จะมี

ส่วนประกอบ ดังนี้ ความชื้น 96.4% โปรตีน 0.4% ไขมัน 0.1% คาร์โบไฮเดรต 2.8% แร่ธาตุ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก วิตามินบี และวิตามินซี ผลแดงกวางมีเอนไซม์หลายชนิด คือ เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ascorbic acid oxidase, succinic malic dehydrogenase เถ้า (ash) จากเมล็ดมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูง ในใบ ต้น และขั้วของแดงกวาง มีสารcucurbitacin A, B, C และ D พบว่า สารcucurbitacin C มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเนื้องอกชนิดมีพิษและมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง แต่สารนี้ไม่มีอยู่ในผลแดงกวาง เมล็ด มีน้ำมันซึ่งประกอบด้วย oleic acid, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid, phytin และ lectin

ประโยชน์:

มีวิตามินสูง ในผลแดงกวางยังมีเอนไซม์ cryssin ซึ่งช่วยย่อยโปรตีนได้ เอนไซม์ชนิดนี้ จะช่วยย่อยผิวหนังที่หยาบกร้าน ให้หลุดออกไป เพื่อให้ผิวใหม่ที่อ่อนนุ่ม เกิดขึ้นมาแทนที่ บางคนใช้แดงกวางสด ผ่าเป็นชิ้นบางๆ วางบนใบหน้าที่กำลังระคายเคือง แขนงแดงกวาง ปัจจุบัน มีน้ำแดงกวางผสมในเครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า ครีมทาตัว เพื่อช่วยให้ผิวไม่หยาบกร้าน และช่วยสมานผิว แแดงกวางเป็นสมุนไพร ที่หาง่าย มีประโยชน์ ราคาถูก ใช้ติดต่อกับเป็นประจำ จะทำให้ผิวสดชื่น มีน้ำมีนวล

สรรพคุณ:

ใบและเนื้อในเมล็ดจากเมล็ดแก่นำมากินเป็นอาหาร เป็นยาถ่ายพยาธิ แก้ท้องเสีย ผลและเมล็ดอ่อน มีสรรพคุณฝาดสมาน เสริมการทำงานของระบบประสาท ช่วยความจำ ลดอาการนอนไม่หลับ แก้กระหายน้ำ มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง ขับปัสสาวะ ทำให้ผิวขาวใสและนุ่มนวล ช่วยบำรุงผมและเล็บ สำหรับผู้ที่ เป็นโรคเกาต์และบวม น้ำถ้ากินเป็นประจำจะป้องกันการเกิดโรคหัวใจ เถาช่วยลดความดันเลือด หั่นแดงกวางเป็นชิ้นบางๆ แล้วนำมาแปะทิ้งไว้เพื่อพอกหน้า หรือนำแดงกวางมาปั่นแล้วคั้นเอาแต่น้ำมาใช้ทาหน้า สามารถเก็บไว้ได้นาน 2 วัน ช่วยให้ความชุ่มชื้น บำรุงผิว กระชับรูขุมขน ลดการเกิดสิวและยังมีฤทธิ์ฆ่าเชื้ออ่อนๆ ลบรอยแผลเป็น บำรุงผิว ขับปัสสาวะ แก้ไข้ กระหายน้ำ ไข้หวัด ยาถ่ายพยาธิ แก้ท้องเสีย

ถิ่นกำเนิด:

แดงกวางมีการบันทึกประวัติการปลูกแดงกวางมากกว่า 3,000 ปี และมีการปลูกแดงกวางในประเทศ แถบทะเล เมดิเตอร์เรเนียน เมื่อก่อน 2,000 ปี โดยนำผ่านเอเชียกลางและตอนเหนือของทวีปแอฟริกา ในศตวรรษที่ 6 ได้นำไปปลูก ในประเทศจีน โดยสันนิษฐานว่าได้นำเข้าประเทศจีน 2 ทาง คือ เส้นทางสายไหม โดยผ่านประเทศในเอเชียตะวันออก ไปภาคเหนือของประเทศจีน ส่วนอีกเส้นทางโดยผ่านประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ พม่า ไทย ลาว ไปสู่ทางภาคใต้ ของประเทศจีน ในศตวรรษที่ 9-14 ได้นำแดงกวางไปปลูกในทวีปยุโรป และได้รับการ

พัฒนาพันธุ์ต้นศตวรรษที่ 19 แดงกวาได้รับการพัฒนาพันธุ์ ให้เหมาะสม ต่อการปลูกได้ในโรงเรือน ศตวรรษที่ 15-16 ได้นำไปปลูกในทวีปอเมริกากลางและอเมริกาเหนือ และแดงกวาได้รับการพัฒนาพันธุ์อย่างมาก ในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 ปัจจุบัน แดงกวา เป็นผักที่นิยมบริโภคทั่วโลก ทั้งในสภาพ การบริโภคสดและแปรรูป

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ แดงกวา :

แดงกวา มีจำนวนโครโมโซม $2n = 14$ เป็นพืชผสมข้ามตามธรรมชาติโดยอาศัยลม และแมลง แต่พบอัตราการผสมตัวเอง 1-47 เปอร์เซ็นต์ โดยธรรมชาติมีดอกเพศผู้และดอกเพศเมีย แยกดอกแต่อยู่ภายในต้นเดียวกัน เป็นพืชฤดูเดียว เถาเลื้อยหรือขึ้นค้าง

ระบบรากแดงกวา:

เป็นระบบรากแก้ว (tap root system) รากแขนงเป็นจำนวนมาก รากสามารถแผ่ทางด้านกว้างและหยั่งลงได้ลึกถึง 1 เมตร

ลำต้นแดงกวา:

เป็นพืชลำต้นเถาเลื้อย เป็นเหลี่ยม มีขนขึ้นปกคลุมทั่วไป มีข้อยาว 10-20 ซม. มือเกาะเกิดออก มาตามข้อ โดยส่วนปลายของมือเกาะไม่มีการแตกแขนงเป็นหลายเส้น ใบมีก้านใบยาว 5-15 ซม. ใบหยาบมีขนใบมีมุมใบ 3-5 มุม ปลายใบแหลม ใบใหญ่แบบ palmate มีเส้นใบ 5-7 เส้น ดอกเพศเมียเป็นดอกเดี่ยวเกิดจากบริเวณมุม ใบหรือข้อมีกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 กลีบ กลีบดอกสีเหลือง 5 กลีบ รังไข่มีลักษณะกลมยาว 2-5 ซม. มีปมูนของหนามและขนชัดเจน ส่วนของยอดเกสรตัวเมียมี 2-5 แฉก ส่วนดอกแดงกวาเพศ ผู้อาจเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นช่อ มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกเหมือนดอกเพศเมีย ละอองเกสรตัวผู้ 3 อัน และมีก้านชูเกสรสั้น ๆ ดอกเพศเมียและดอกแดงกวาเพศผู้บานในตอนเช้าและพร้อมรับการผสมเกสรดอกจะหุบ ตอนบ่ายภายในวันเดียวกัน

การเกิดดอกตัวเมีย:

ขึ้นอยู่กับช่วง แสงและอุณหภูมิ กล่าว คือ จะเกิดดอกแดงกวาตัวเมียมากกว่าดอกตัวผู้ ในสภาพช่วงแสงสั้นและมีอุณหภูมิกลางคืนต่ำ ซึ่งตรงกับฤดูหนาวของเมืองไทย

ผลของแดงกวา:

มีลักษณะกลมยาวทรงกระบอก ความยาวผลระหว่าง 5-40 ซม. มีไส้ภายในผล และในปัจจุบัน แดงกวาพันธุ์การค้าในต่างประเทศ มีการปรับปรุงพันธุ์ที่สามารถติดผลได้ โดยไม่ได้รับการผสมเกสร (parthenocarpic type) โดยภายในผลไม่มีไส้ เนื้อกรอบ และน้ำหนักต่อผลสูงนิยมทั้งบริโภคสดแปรรูป สีส้มมีสีขาว เขียวอ่อน เขียว และเขียวเข้มดำ สีหนามสีขาว แดง น้ำตาล และดำ

2.1.1 แดงกวา สามารถจำแนกได้ตามประโยชน์การใช้สอยดังนี้

2.1.1.1 พันธุ์แดงกวาสำหรับรับประทานสด เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อบางและไส้ใหญ่ สีสเปลือกเป็นสีเขียวอ่อน ผลมีน้ำมากเป็นพันธุ์ที่มีทั้งผลเล็กและผลใหญ่ เมื่อผลยังอ่อนอยู่จะมีหนามเต็มไปหมด แต่เมื่อโตเต็มที่หนามจะหลุดออกเอง พันธุ์รับประทานสดนี้ไม่เหมาะกับการนำไปดอง แดงกวารับประทานสดแบ่งตามขนาดของผลนั้น แบ่งได้เป็น

1) แดงผลยาว (long cucumber) ที่รู้จักกันในชื่อของแดงร้านซึ่งมีความยาวผลอย่างน้อย 15 ซม. และมีความกว้างผลมากกว่า 2.5 ซม. ส่วนใหญ่จะมีเนื้อหนาไส้แคบ กรณีที่เป็นพันธุ์ของไทยนั้น จะมีสีเขียวแก่ตรงส่วนใกล้ขั้วผลประมาณ 1/3 - ๒ ของผลที่เหลือมีจุดประสีเขียวย่อหรือขาว และเส้นสีขาวเป็นแถบเล็ก ๆ ตลอดความยาวไปถึงปลายผล ส่วนพันธุ์ของต่างประเทศนั้น จะมีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอทั้งผล

2) แดงผลสั้น (short cucumber) ที่รู้จักกันในชื่อของแดงกวา ซึ่งมีความยาวผล 8-12 ซม. และมีความกว้างผลมากกว่า 2.5 ซม. ส่วนใหญ่จะมีเนื้อน้อยไส้กว้าง

2.1.1.2 พันธุ์แดงกวาอุตสาหกรรม เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อหนา ไส้เล็ก บางพันธุ์ก็ไม่มีไส้เลย เปลือกสีเขียวเข้ม เมื่อนำไปดองจะคงรูปร่างได้ดี ไม่ค่อยเหี่ยวยุบ แดงกวาพันธุ์นี้มักจะเป็นลูกผสม ผลมักมีรูปร่างพอมยาว ซึ่งแบ่งตามขนาดได้ดังนี้

1) แดงผลยาว (long cucumber) เป็นแดงชนิดที่ใช้ทำแอดของญี่ปุ่นและจีน ซึ่งจะต้องมีความยาวผล 20-30 ซม. และมีความกว้างผล 2-3 ซม. มีเนื้อหนาไส้แคบผิวสีเขียวเข้ม ตลอดความยาวของผล มักใช้ดองโดยมีการใช้น้ำปรุงรสด้วยส่วนผสมของซีอิ๊ว

2) แดงผลสั้น (short cucumber) เป็นแดงชนิดที่ใช้ทำแอดของสหรัฐอเมริกาและยุโรป ซึ่งมีความยาว 8-12 ซม. และมีความกว้างผล 1.0-5.1 ซม. โดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.8-3.1 มีเนื้อหนาและแน่น ไส้แคบ ผิวสีเขียวเข้ม ตลอดความยาวของผล มักใช้ดองทั้งผล ผ่าตามความยาวและหั่นเป็นชิ้น ๆ ตามความกว้างของผล มักดองโดยมีการใช้น้ำปรุงรสด้วยส่วนผสมของซีอิ๊ว

2.1.2 สภาพแวดล้อมในการปลูกแดงกวา

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดแดงกวา ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส สามารถเจริญเติบโตได้ผลดีระหว่างอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกลางวัน 22-28 องศาเซลเซียส แดงกวาจะชะงักการเจริญเติบโต สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผสมเกสรนั้นอยู่ระหว่าง 17-25 องศาเซลเซียส

แดงกวาเป็นพืชที่ไม่ต้องการน้ำมากแต่ขาดน้ำไม่ได้ โครงสร้างของดินที่ปลูกแดงกวา

ควรมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี ควรมีความเป็นกรด ค่าง (pH) อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 ในสภาพดินที่เป็นดินทรายจัด หรือเหนียวจัด จำเป็นต้องปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูก โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวแล้วและสภาพความเป็นกรดค่างนั้น ควรจะวิเคราะห์หาค่าความต้องการปุ๋ยก่อนที่จะใช้ปุ๋ยขาวเพื่อให้มีการใช้ใน ปริมาณที่เหมาะสม

2.1.3 การเตรียมดินปลูกแตงกวา

ก่อนการปลูกแตงกวา ไถพรวนดินตากไว้ประมาณ 7-10 วัน เพื่อทำลายวัชพืช และศัตรูพืชบางชนิดที่อยู่ในดิน จากนั้นจึงไถพรวนเก็บเอาเศษวัชพืชออก แล้วเตรียมแปลงขนาดกว้าง 1-1.2 เมตร โดยมีความยาวตามลักษณะของพื้นที่ แล้วจึงใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไป ปรับโครงสร้างของดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแตงกวา การเตรียมหลุมปลูกนั้นควรกำหนดระยะระหว่างต้นประมาณ 60-80 เซนติเมตร ระหว่างแถวประมาณ 1 เมตร สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นนั้นอาจใช้สูตร 15-15-15 ในอัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ ในบางแหล่งอาจใช้พลาสติกคลุมดินเพื่อรักษาความชื้นในดิน ป้องกันความงอกของวัชพืช และพลาสติกบางชนิดสามารถที่จะไล่แมลงไม่ให้เข้ามาทำลายแตงกวาได้

2.1.4 การเตรียมพันธุ์แตงกวา

ขั้นตอนการเตรียมพันธุ์แตงกวา นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปลูกแตงกวา ซึ่งพอแบ่งได้ดังนี้

2.1.4.1 การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์แตงกวา ควรคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่มีความสมบูรณ์ ชื่อจากร้านค้าให้เลือกชื่อจากร้านที่เชื่อถือ มีการบรรจุหีบห่อ เมล็ดที่สามารถป้องกันความชื้น หรืออากาศ จากภายนอกเข้าไปได้ ลักษณะเมล็ดแตงกวาควรมีการคลุกสารเคมี เพื่อป้องกันศัตรูพืชที่อาจติดมากับเมล็ด และก่อนใช้เมล็ดทุกครั้งควรทำการทดสอบความงอกก่อน

2.1.4.2 การเตรียมดินเพาะกล้าแตงกวา อัตราส่วนดิน : ปุ๋ยคอก 3:1 และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-24-12 อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อต้นกล้า 1 ไร่ คลุกให้เข้ากัน แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกขนาด 6×10 เซนติเมตร เพื่อเตรียมสำหรับหยอดเมล็ดแตงกวาต่อไป

2.1.4.3 ทำการบ่มเมล็ดแตงกวา โดยนำเมล็ดแตงกวาบรรจุถุงพลาสติกที่เจาะรูพรุน แช่น้ำในสารละลายเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เช่น แคปเทน ออโซไธด์ ผสมอัตรา 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แช่เมล็ดนาน 30 นาที เพื่อทำลายเชื้อราที่ผิวเมล็ด จากนั้นนำมาแช่น้ำ 4 ชั่วโมง แล้วจึงบ่มในผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น บ่มในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง หลังจากรากงอกยาว 0.5 เซนติเมตร จึงนำไปเพาะต่อไป

2.1.4.4 การหยอดเมล็ดลงถุง นำเมล็ดแตงกวาที่ได้บ่มไว้หยอดลงแต่ละถุง จำนวนถุงละ 1 เมล็ด แล้วใช้ดินผสมหยอดกลบบางประมาณ 1 เซนติเมตร

2.1.5 การดูแลรักษากล้าแตงกวา

หลังจากหยอดเมล็ดแล้ว ให้น้ำทันที โดยวิธีการฉีดพ่นให้เป็นฝอยละเอียดที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปริมาณน้ำที่ให้นั้นไม่ควรให้ปริมาณที่มากเกินไป ในช่วงฤดูร้อน ควรจะให้น้ำละ 1 ครั้ง ทั้งนี้ให้ตรวจสอบความชื้นก่อนการให้น้ำทุกครั้ง งดเพาะกล้านี้ควรเก็บไว้ในที่แดดไม่จัดหรือมีการใช้วัสดุกันแสงไม่ให้มากเกินไป ทบต้นกล้ามักเกินไปเมื่อแตงกวา เริ่มงอกให้หมั่นตรวจสอบความผิดปกติของต้นกล้าเป็นระยะ ๆ หากมีการระบาดของแมลงหรือโรคพืช ต้องรีบกำจัดโดยเร็ว และเมื่อต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 3-4 ใบ จะอยู่ในระยะพร้อมที่จะย้ายปลูก

2.1.6 การปลูกแตงกวา

วิธีการปลูกแตงกวานั้น พบว่ามีการปลูกทั้งวิธีการหยอดเมล็ดโดยตรงและเพาะกล้าก่อนแล้วย้ายปลูก การหยอดเมล็ดโดยตรงนั้นอาจมีความสะดวกในการปลูก แต่มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองเมล็ด หากใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสมซึ่งมีราคาแพงแล้ว จะเกิดความสูญเสียเปล่าและเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต รวมทั้งวิธีการหยอดเมล็ดนี้จำเป็นที่จะต้องดูแลระยะเริ่มงอกในพื้นที่กว้าง ดังนั้นการใช้วิธีการเพาะกล้าก่อน จึงมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ประหยัดเมล็ดพันธุ์ ดูแลรักษาง่าย ต้นกล้ามีความสม่ำเสมอ ประหยัดค่าแรงงานในระยะกล้า เป็นต้น

2.1.7 การย้ายกล้าปลูกแตงกวา

ให้ดำเนินการตามกระบวนการเพาะกล้าตามที่กล่าวแล้ว และเตรียมหลุมปลูกตามระยะที่กำหนด จากนั้นนำต้นกล้าย้ายปลูกลงในหลุม ตามระยะระหว่างต้นและระหว่างแถวตามที่ได้กำหนดไว้ โดยการฉีกถุงพลาสติกที่ใช้เพาะกล้าออกแล้วย้ายลงในหลุมปลูก ช่วงเวลาที่จะย้ายกล้านั้นควรย้ายช่วงประมาณเวลา 17.00 น. จะทำให้ปฏิบัติงานในไร่นาได้สะดวกและต้นกล้าสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น

2.1.8 การให้น้ำแตงกวา

หลังจากย้ายกล้าแตงกวาปลูก แล้ว ต้องให้น้ำทันที ระบบการให้น้ำนั้นอาจจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ แต่ระบบที่เหมาะสมกับแตงกวา คือการให้น้ำตามร่อง เพราะว่าจะไม่ทำให้ลำต้น และใบไม่ชื้น ลดการลุกลามของโรคพืชทางใบ ช่วงเวลาการให้น้ำในระยะแรกควรให้ 2-3 วันต่อครั้งและเมื่อต้นแตงกวา เริ่มเจริญเติบโตแล้วจึงปรับช่วงเวลาการให้น้ำให้นานขึ้น ข้อควรคำนึงสำหรับการให้น้ำนั้น คือ ต้องกระจายในพื้นที่สม่ำเสมอตลอดแปลง และตรวจสอบความชื้นในดินไม่ให้สูงเกินไปจนกลายเป็นแฉะ เพราะจะทำให้รากเน่าได้

2.1.9 การใส่ปุ๋ยแตงกวา การใส่ปุ๋ยในแตงกวานั้น อาจแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ดังนี้

2.1.9.1 ระยะเตรียมดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมัก อัตรา 1-2 ตันต่อไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 12-24-12 อัตราประมาณ 20-30 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.9.2 หลังย้ายปลูกประมาณ 7 วัน ใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจน เช่น ยูเรีย หรือ แอมโมเนีย ซัลเฟต ในอัตราประมาณ 20 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.9.3 ระยะแตกกอออกดอก ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 25 วัน หลังจากย้ายกล้า ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 12-24-12 อัตรา ประมาณ 20-30 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.10 แมลงศัตรู แตงกวา

2.1.10.1 เพลี้ยไฟ (Thrips : *Haplothrips floricola*)

ลักษณะ เป็นแมลงขนาดเล็ก ตัวสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลแก่ พบตามยอดใบอ่อน ดอก และผลอ่อนการทำลาย คุณน้ำเลี้ยงที่ใบ ดอกอ่อน และยอดอ่อน ทำให้ใบม้วนหงิกงอ รูปร่างผิดปกติเป็นกระจุก มีสีสลับเขียวเป็นทาง ระบาดมากในช่วงที่มีอากาศแห้งแล้งฝนทิ้งช่วง นับเป็นแมลงที่เป็นปัญหาสำคัญที่สุดในการปลูกแตงกวาการป้องกันกำจัด ให้น้ำเพิ่มความชื้นในแปลงปลูก โดยให้น้ำเป็นฟอยตอนเช้าและตอนเย็น จะช่วยลดปัญหาของเพลี้ยไฟได้ใช้สารฆ่าแมลง คือ สารคาร์โบฟูราน ได้แก่ ฟุราดาน 3 จี หรือ คูราเทอร์ 3 จี 1 ช้อนชาต่อหลุม ใส่พร้อมกับการหยอดเมล็ด จะป้องกันได้ประมาณ 2 สัปดาห์กรณีที่เริ่มมีการระบาดให้ใช้สารฆ่าแมลง ได้แก่ พอสซ์เมซูโรล แลนเนท ไดคาร์โบซัล ออลคอล อะโซคริน ไดกุไทออน หรือทามารอน เป็นต้น

2.1.10.2 เพลี้ยอ่อน (Aphids: *Aphids gossypii*)

ลักษณะ เป็นแมลงขนาดเล็ก ลำตัวคล้ายผลฝรั่ง มีท่อเล็ก ๆ ยื่นยาวออกไปทางส่วนท้ายของลำตัว 2 ท่อน เป็นแมลงปากดูด ตัวอ่อนสีเขียว ตัวแก่สีดำและมีปีก การทำลาย คุณน้ำเลี้ยงที่ใบและยอดอ่อน ทำให้ใบม้วน ต้นแคระแกร็น และยังเป็นพาหนะนำไวรัสด้วย มักระบาดมากในช่วงอากาศร้อนและแห้งซึ่งเป็นตอนที่พืชขาดน้ำ โดยมีมดเป็นตัวนำหรือการบินย้ายที่ของตัวแก่การป้องกันกำจัด ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงเช่นเดียวกับการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟ

2.1.10.3 ไรแดง (Red spider mites: *Tetranychus spp.*)

ลักษณะ ไม่ได้เป็นแมลงแต่เป็นสัตว์ที่มีขา 8 ขา มีขนาดเล็กมาก มองเห็นเป็นจุดสีแดงการทำลาย คุณน้ำเลี้ยงที่ใบและยอดอ่อนทำให้ใบเป็นจุดด่างมีสีซีด โดยจะอยู่ใต้ใบเข้าทำลายร่วมกับเพลี้ยไฟ และเพลี้ยอ่อน มักระบาดมากในช่วงอากาศร้อนและแห้งซึ่งเป็นตอนที่พืชขาดน้ำการป้องกันกำจัด ใช้สารเคมีกำจัดไร ได้แก่ เคลเทน ไตรโทออน หรือ โอไมท์ เป็นต้น

2.1.10.4 เต่าแตงแดง (Red cucurbit beetle: *Aulacophora similis*) และเต่าแตงดำ

(Black cucurbit beetle: *A. frontalis*)

ลักษณะ เป็นแมลงปีกแข็ง ปีกมีสีส้มแดงและสีดำเข้ม ตัวมีขนาดเล็กยาวประมาณ 0.5-0.8 ซม. อาศัยอยู่ตามกอข้าวที่เกี่ยวแล้วในนา หรือตามกอหญ้าการทำลาย กัดกินใบตั้งแต่ระยะใบเลี้ยงจนกระทั่งต้นโต ทำให้เป็นแผลและเป็นพาหะของโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อ

แบคทีเรียด้วย ตัวเมียวางไข่บริเวณโคนต้น ตัวหนอนกัดกินรากการป้องกันกำจัด ควรทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของแมลง รวมทั้งเศษซากต่งหลังการเก็บเกี่ยวใช้สารเคมีฉีดพ่น ได้แก่ เซฟวิน คาร์โบนีน ออกซี-85 หรือ ไบทริน หรือใช้สารเคมีชนิดเม็ด เช่น ฟุราดาน 3 จี หรือคูราแทรร์ 3 จี ใส่หลุมปลูก พร้อมกับการหยอดเมล็ด จะป้องกันเต่าแดงได้ประมาณ 2 สัปดาห์

2.1.10.5 หนอนกินใบแดง (Leaf eating caterpillar: *Palpita indica*) และหนอนไถเปลือกหรือหนอนเจาะผล (Fruit boring caterpillar: *Helicoverpa armigera*)

ลักษณะ หนอนกัดกินใบแดง มีรูปร่างเรียวยาวประมาณ 2 ซม. สีเขียวอ่อน ตรงกลางสันหลังมีเส้นแถบสีขาวตามยาว 2 เส้น หนอนตัวโตเต็มวัยเป็นผีเสื้อที่มีปีกโปร่งใสตรงกลาง ส่วนหนอนเจาะผลมีขนาดใหญ่กว่า ลำตัวยาวสีเขียวอ่อนถึงสีน้ำตาลดำ มีรอยต่อปล้องชัดเจน การทำลาย กัดกินใบ ไถเปลือกเป็นแผลและเจาะผลเป็นสาเหตุให้โรคอื่น ๆ เข้าทำลายต่อได้ เช่น โรคผลเน่า การป้องกันกำจัด ใช้สารเคมี เช่น อโซทริน แลนเนท ทามารอน ไดกูไทออน บุก หรือ อะโกรน่า เป็นต้น

2.1.11 โรคที่เป็นศัตรูสำคัญของแตงกวา ได้แก่

2.1.11.1 โรคราน้ำค้าง (Downy mildew) หรือที่เกษตรกรนิยมเรียกว่าโรคใบลาย เกิดจากเชื้อ *Pseudoperonospora* ลักษณะอาการ เริ่มเป็นจุดสีเหลืองบนใบ แพล่นั้นจะขยายออกเป็นเหลี่ยมในระหว่างเส้นใบ ถ้าเป็นมาก ๆ แผลลามไปทั้งใบทำให้ใบแห้งตาย ในตอนเช้าที่มีหมอก น้ำค้างจัดช่วงหลังฝนตกติดต่อกันทำให้มีความชื้นสูง ในบริเวณปลูก จะพบว่าใต้ใบตรงตำแหน่งของแผลจะมีเส้นใยสีขาวเกาะเป็นกลุ่มและมีสปอร์เป็นผง สีดำการป้องกันกำจัด คลุกเมล็ดด้วยสารเคมีเพรอน หรือริโดมิลเอ็มแซดก่อนปลูกหรือจะนำเมล็ดมาแช่สารเคมีที่ละลายน้ำเจือจาง เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก็ได้ เมื่อมีโรคระบาดในแปลงและในช่วงนั้นมีหมอกและน้ำค้างมาก ซึ่งควรฉีด Curzate M8, Antrachor สลับกันเพื่อป้องกันการดื้อสารเคมีของเชื้อ

2.1.11.2 โรคใบด่าง (Mosaic) เชื้อสาเหตุ Cucumber mosaic virus ลักษณะอาการ ใบด่างสีเขียวเข้มสลับสีเขียวอ่อนหรือด่างเขียวสลับเหลืองเนื้อใบตะปุ่มตะป่ำ มีลักษณะนูนเป็นระยะ ๆ ใบหงิกเสียรูปร่างการป้องกันกำจัด ในปัจจุบันยังไม่มีการใช้สารเคมีหรือวิธีการใด ๆ ที่จะลดความเสียหายเมื่อโรคนี้อาการ ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดขณะนี้คือการป้องกันไม่ให้เกิดโรค เช่น เลือกแหล่งปลูกที่ปลอดจากเชื้อไวรัส อาจทำได้โดยเลือกแหล่งปลูกที่ไม่เคยปลูกผักตระกูลแตงมาก่อน และทำความสะอาด แปลงปลูกพร้อมทั้งบริเวณใกล้เคียงให้สะอาดไม่ให้เป็นที่อาศัยของเชื้อและแมลงพาหะ

2.1.11.3 โรคผลเน่า (Fruit rot) เชื้อสาเหตุ Pythium spp., Rhizoctonia solani,

Botrytis cinerea ลักษณะอาการ มักเกิดกับผลที่สัมผัสดิน และผลที่แมลงกัดหรือเจาะทำให้เกิดแผล ก่อน จะพบมากในสภาพที่เย็นและชื้น กรณีที่เกิดจากเชื้อฟิเทียมจะเป็นแผลน้ำเน่าเริ่มจากส่วนปลาย ผล ถ้ามีความชื้นสูงจะมีเส้นใยฟูสีขาวขึ้นคลุม กรณีที่เกิดจากเชื้อไรซอกโทเนียจะเป็นแผลเน่าน้ำเน่า บริเวณผิวของผลที่ สัมผัสดิน แผลจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแก่และมีรอยฉีกของแผลด้วย ส่วนกรณีที่เกิดจากเชื้อโบทริทีสนั้น บริเวณส่วนปลายของผลที่เน่า จะมีเชื้อราขึ้นคลุมอยู่การป้องกันกำจัด ทำลายผลที่เป็นโรค อย่าให้ผลสัมผัสดิน ป้องกันไม่ให้ผลเกิดบาดแผล

2.1.11.4 โรคราแป้ง (Powdery mildew) เชื้อสาเหตุ Oidium sp. ลักษณะอาการ มัก

เกิดใบล่างก่อนในระยะที่ผลโตแล้ว บนใบจะพบราสีขาวคล้ายผงแป้งคลุมอยู่เป็นหย่อม ๆ กระจายทั่วไป เมื่อรุนแรงจะคลุมเต็มใบทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วแห้งตาย การป้องกันกำจัด ใช้ สารเคมี เช่น เบนเลท เดอโรซาล Diametan หรือ Sumilex ฉีดพ่นเมื่อพบการระบาด

2.1.12 การเก็บเกี่ยวแตงกวา

อายุการเก็บเกี่ยวของแตงกวา นับจากวันปลูกประมาณ 30-40 วัน แล้วแต่พันธุ์ แตงกวาสำหรับบริโภคสด ควรเลือกเก็บขณะที่ผลยังอ่อนอยู่เนื้อแน่นกรอบ และสังเกตได้จากมี นวลสีขาวเกาะและยังมีหนามอยู่บ้าง ถ้าผลแก่หนวลจะจางหาย สีผลเริ่มเป็นสีเหลือง และไม่มีหนาม การเก็บแตงกวาควรทยอยเก็บวันเว้นวัน ไม่ปล่อยให้แก่คาต้น เพราะจะทำให้ผลผลิตทั้งหมดลดลง โดยปกติจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 1 เดือน

2.2 วัสดุนาโน (nanomaterials)

วัสดุนาโน (nanomaterials) เป็นวัสดุที่กำลังดึงดูดความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ในช่วงทศวรรษนี้อย่างมากมาย และเป็นไปด้วยความรวดเร็วอย่างที่วัสดุอื่นๆ ไม่เคยได้รับมาก่อน สาเหตุสำคัญอาจจะเนื่องมาจากศักยภาพของวัสดุนาโนที่สามารถทำการปฏิบัติงานด้านวัสดุศาสตร์ ให้เกิดขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาล โดยผ่านโครงสร้างในระดับอะตอมซึ่งเป็นตัวควบคุมสมบัติทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น สภาพแม่เหล็ก ตัวกระตุ้นปฏิกิริยา(catalysis) หรือพฤติกรรมทางแสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการพัฒนา เทคโนโลยีด้านต่างๆเช่น ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เซรามิกส์ ตัวเก็บข้อมูลแม่เหล็ก (magnetic data storage) รวมทั้งพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุอ่อนรูปพลาสติกยิ่งยวด (superplastic) ตลอดจน วิทยาศาสตร์และวิทยาการด้านอื่นๆ มากมาย การพัฒนาโครงสร้างนาโนของวัสดุก่อให้เกิดคำถามที่ เพิ่มขึ้นอย่างมากว่าทำไมคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุจึงเปลี่ยนแปลงไปเมื่อลดสเกลโครงสร้างจากระดับไมโครสเกล(10^{-6} เมตร)ลงสู่ระดับนาโนสเกล(10^{-9} เมตร) เช่น มีค่าความเครียดเชิงกลสูงขึ้น

(mechanical strength) การกระจายแสงเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้น และสภาพความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเดิมของตัวเอง

วัสดุนาโนสามารถจะจัดแบ่งได้เป็นผลึกนาโน (nanocrystalline) และอนุภาคนาโน (nanoparticle) โดยที่ก้อนหรือปริมาตรของผลึกนาโนซึ่งประกอบด้วยเม็ดผลึก (grain sizes) ที่มีขนาดช่วงสเกลการวัดอยู่ในระดับนาโน ถึงประมาณ 100 นาโนเมตร แต่ขณะที่อนุภาคนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 100 นาโนเมตร ดังนั้นก้อนหรือปริมาตรของวัสดุที่เป็นผลึกนาโนจึงประกอบขึ้นหรือเกิดจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคนาโนนั่นเอง การศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุนาโน ต้องใช้ความพยายามสูง มีความเกี่ยวข้องกันในหลายๆ สาขาวิชา รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของนักวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ และวัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งชีววิทยา และการแพทย์งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโนเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจ เช่นกัน มีความคิดเห็นหลายประเด็นที่จะกล่าวถึง สักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาย เช่นในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง การเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม คุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้างใหม่และคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุนาโน การเตรียมผลิตภัณฑ์จากอนุภาคนาโนที่มีความหนาแน่นสูงและมีสิ่งเจือปนต่ำ และการเก็บรักษาสภาพรายละเอียดของเม็ดผลึกเพื่อดำรงไว้ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลที่มีความสัมพันธ์กับขนาดสเกลในระดับนาโน เทคโนโลยีสำหรับเตรียมอนุภาคนาโนมีหลากหลายแนวทาง เช่น เตรียมจากกระบวนการไอระเหย เตรียมจากของเหลวหรือของแข็ง การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยเทคนิคไอระเหยมีหลายวิธี อาจเตรียมจากการเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางฟิสิกส์ (physical vapor deposition, PVD) การเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางเคมี (chemical vapor deposition, CVD) กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของเหลวจะเกี่ยวข้องกับวิธีการโซลเจล (sol-gel) และสารละลายเคมี กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนจากของแข็งสามารถเตรียมจากการบด การขัดสี หรือการสังเคราะห์ทางเคมีเชิงกล (mechanochemical) แต่ละวิธีที่กล่าวถึงจะมีประโยชน์และข้อบกพร่องเป็นลักษณะเฉพาะของตนเองสำหรับการเตรียมผงแป้งนาโนที่มีปริมาณมากๆ วิธีการที่นิยมใช้ทั่วไปคือ กระบวนการบดหรือการขัดสีเชิงกล และการฉีดพ่นละอองสาร (spraying) อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์จากหลายๆ วิธีการอาจจะมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นของแข็งกระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนให้มีความหนาแน่นมาก เป็นก้อนขนาดใหญ่ หรือเคลือบให้มีความหนาของเม็ดผลึกอยู่ในระดับนาโนค่อนข้างลำบากและยุ่งยากมากในทางปฏิบัติ เนื่องจากอนุภาคนาโนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง และมีการเกาะกลุ่มกันอย่างแข็งแรงเหนียวแน่นนอกจากจากนั้นการสังเคราะห์ของอนุภาคนาโนมักจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิค่อนข้างสูง ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆ ในระหว่างการ

สังเคราะห์และผลลัพธ์ของกระบวนการต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายที่ยิ่งใหญ่ของนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเตรียมโครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาวัสดุนาโนชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติโครงสร้าง และการใช้งานในด้านต่างๆ ตามคุณสมบัติอันหลากหลายตามธรรมชาติของวัสดุนาโนในแต่ละชนิดนั้นๆ

2.2.1 การสังเคราะห์วัสดุนาโน (Synthesis nanomaterials)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมากในเรื่องของการทำความเข้าใจพื้นฐานที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโน แท่งนาโน(nanorods) ท่อนาโน(nanotubes) เส้นใยนาโน (nanowires) หรือวัสดุนาโนอื่นๆ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์วัสดุนาโนรวมทั้งการผลิตเพื่อการค้า อาจจะจัดแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามลักษณะของวิธีที่ใช้คือ

1. ไอรระเหย (vapor)
2. ของเหลว (liquid)
3. ของแข็ง (solid)
4. แบบผสมกัน (combined)

วิธีปกติที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะและเซรามิกซ์เพื่อให้อนุภาคนาโนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอมักทำการสังเคราะห์ให้เกิดการก่อตัวหรือจับตัว (condensation) ในก๊าซเนื่องการระเหยไอของวัสดุจากพื้นผิวของแข็งให้ไปเกิดเป็นกลุ่มกระจุกของอนุภาคนาโนกระทำได้หลายวิธีการเช่น การทำให้ระเหยด้วยความร้อน (evaporation) การสปัตเตอร์ (sputtering) และอาบด้วยแสงเลเซอร์ (laser) ซึ่งวิธีดังกล่าวเรียกว่า การเคลือบหรือตกตะกอนด้วยไอรระเหยทางฟิสิกส์ กลุ่มกระจุกของอนุภาคนาโนที่ถูกสร้างขึ้นจะจับรวมตัวกันอยู่บนแผ่นหรือฐานรองรับ (substrate) ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การก่อรูปของอนุภาคนาโนเพื่อให้ได้ก้อนหรือปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงอาจต้องดำเนินการในภาชนะที่อยู่ในสถานะสุญญากาศสูง

กระบวนการเคลือบหรือตกตะกอนด้วยไอรระเหยทางเคมี เป็นกระบวนการที่ก๊าซซึ่งเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาถูกทำให้ระเหยหรือปล่อยให้ไหลผ่านเข้าไปยังฐานหรือแผ่นรองรับที่ถูกทำให้ร้อน จะเกิดการก่อตัวเป็นฟิล์มบางของของแข็งของอนุภาคนาโน แท่งนาโน หรือท่อนาโน ชนิดต่างๆ บนแผ่นรองรับ นอกจากนี้การอบด้วยความร้อน หรือแสงเลเซอร์ หรือพลาสมาไอออน ยังสามารถทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของก๊าซตั้งต้นปฏิกิริยาดังกล่าวเช่นกัน กระบวนการเคลือบหรือตกตะกอนด้วยไอรระเหยทางเคมี เป็นเทคนิคที่ประสบผลสำเร็จในการเคลือบหรือตกตะกอนของฟิล์มบางมาเป็นเวลานานแล้ว ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสามารถนำมาใช้กับเครื่องมือแบบง่ายๆ ได้ฟิล์มที่มี

ความสม่ำเสมอและมีความหนาแน่นสูง มีอัตราการเคลือบหรือตกตะกอนสูง ใช้ในการผลิตในระดับที่มีสเกลขนาดใหญ่ได้ โดยเฉพาะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโน หรืออนุภาคนาโน อย่างไรก็ตามเราต้องคำนึงถึงปัญหาด้านความปลอดภัยของสุขภาพอันอาจเกิดจากควัน ก๊าซกัดกร่อน หรือก๊าซพิษต่างๆ

กระบวนการฉีดพ่นละอองสาร เป็นกระบวนการที่นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีเพียงขั้นตอนเดียว ใช้งานได้หลายๆด้าน และให้อัตราการผลิตสูง ซึ่งในกระบวนการต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วนั้นของเหลวที่เป็นสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในสถานะไอระเหย แล้วถูกทำให้ควบแน่นหรือจับรวมตัวอยู่ในหลอดแก้วทนความร้อน วิธีการเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตผงแป้งเซรามิกซ์นาโนชนิดต่างๆ ได้ตามแต่ชนิดของสารตั้งต้นที่นำมาใช้ เทคนิคการเตรียมโดยใช้ของเหลว จะทำให้ได้อนุภาคนาโนเซรามิกซ์ที่มีความบริสุทธิ์และมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง

กระบวนการที่น่าสนใจอีกกระบวนการหนึ่งคือ กระบวนการโซลเจล ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุล การใช้โมเลกุลเป็นสารตั้งต้นสามารถเตรียมได้จากออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ชนิดต่างๆ ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาควบแน่น ดังนั้นกระบวนการโซลเจลจึงเป็นวิธีการใหม่ที่มีการควบแน่นขั้นตอนการเตรียมวัสดุนาโนได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามสารอัลค์ออกไซด์ที่นำมาใช้มีราคาค่อนข้างสูงและค่อนข้างยุ่งยาก ในการเตรียมก่อนหรือปริมাত্রผลิตนาโนตามที่ได้กล่าวมาแล้วเราอาจจัดแบ่งเทคนิควิธีการ หรือกระบวนการสังเคราะห์โครงสร้างต่างๆ ของวัสดุนาโนตามสภาพต่างๆ ได้ดังนี้

2.2.1.1 กระบวนการไอระเหย (vapor process) แบ่งเป็น

- 1) การเคลือบหรือตกตะกอนด้วยไอระเหยทางฟิสิกส์
- 2) การเคลือบหรือตกตะกอนด้วยไอระเหยทางเคมี
- 3) การฉีดพ่นละอองสาร

2.2.1.2 กระบวนการทางของเหลว (liquid process) แบ่งเป็น

- 1) วิธีการโซลเจล
- 2) วิธีการเชิงเคมีแบบเปียก

2.2.1.3 กระบวนการทางของแข็ง (solid process) แบ่งเป็น

- 1) การบดหรือการผสมเชิงกล
- 2) วิธีการทางเคมีเชิงกล

2.2.1.4 กระบวนการผสมผสาน (combined process) เป็นการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ใช้ หลายวิธีการ หรือหลายวิธีการมาผสมกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการกระบวนการหรือ

เทคนิควิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อแตกต่างกัน และมีรายละเอียดค่อนข้างมากและเป็นลักษณะเฉพาะซึ่งผู้เชี่ยวชาญทางสาขานี้อาจแบ่งย่อยในรายละเอียดลงไปอีกก็ได้ จะได้นำภาพถ่าย SEM ผลการสังเคราะห์วัสดุนาโนชนิดต่างๆในบางวิธีการมานำเสนอเท่านั้น

2.2.2 การนำวัสดุนาโนมาใช้ประโยชน์ (Applications in Nanomaterials)

การใช้ประโยชน์จากวัสดุนาโนที่นำมาเสนออาจจะมีรายละเอียดไม่ครอบคลุมทั้งหมดเนื่องจากวิทยาการทางด้านนาโนศาสตร์เป็นความรู้ใหม่เพิ่งมีการนำเสนอ งานวิจัยเมื่อปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งศักยภาพของวัสดุนาโนมีคุณสมบัติครอบคลุมศาสตร์ต่างๆ หลากหลายแขนง การประยุกต์ใช้ประโยชน์ในภาพรวมดังนี้

2.2.2.1. ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ (integrated electronics and optoelectronics) เช่น หน่วยความจำ(memory cell) ที่มีขนาดประมาณ 90 นาโนเมตร และคาดว่าจะลดขนาดลงเหลือประมาณ 22 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 2016 วัสดุพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์(plastic electronics) อุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพ(biosensors) อุปกรณ์ตรวจวัดทางเคมี (chemical sensors) หรืออุปกรณ์แสดงผลโครงสร้างสุขภาพ(structural health monitoring) เป็นต้น

2.2.2.2 ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพนาโนและการแพทย์นาโน (bionanotechnology and nanomedicine) เช่น การขนส่งยาไปยังที่หมายเฉพาะ (targeted drug delivery) การแสดงภาพโมเลกุล(molecular imaging) ตัวต่อต้านจุลชีพ (antimicrobial agents) เนื้อเยื่อและโครงนาโน(tissues and scaffolds) หรือ เครื่องแสดงผลสุขภาพอัจฉริยะ (smart health monitoring) เป็นต้น

2.2.2.3. ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ (engineering) เช่น วัสดุเชิงกลนาโน (nanomechanics materials)ระบบไฟฟ้าเชิงกลนาโน (nanoelectro-mechanical systems) วัสดุโครงสร้างอัจฉริยะ(smart materials structures) วัสดุและโครงสร้างป้องกันไฟ(fire retardant materials and structures) วัสดุประกอบ(composites) หรือพลาสติกยิ่งยวด (superplastic) เป็นต้น

2.2.2.4. ทางด้านพลังงาน เช่น เป็นวัสดุกักเก็บเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (hydrogen storage) ไฟฟ้าเคมี(electrochemistry) เซลล์สุริยะ (solar cell) หรือท่อคาร์บอนนาโน ความหนาแน่นกระแสสูง (highest current density carbon nanotubes) เป็นต้น

2.2.2.5. การวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ งานวิจัยทางด้านนาโนศาสตร์ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการอาศัยหลักการ ทฤษฎีและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปทางฟิสิกส์ หรือ เคมี ของวัสดุนาโนที่แตกต่างไปจากวัสดุเดิมในระดับไมโคร เป็นต้น

ศักยภาพของวัสดุนาโนแต่ละชนิด บางชนิดมีประโยชน์มากมาย บางชนิดอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย ซึ่งแต่ละชนิดอาจมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับศาสตร์หลายๆแขนงด้วยกัน ในปัจจุบันนี้วัสดุนาโนหลายๆ ชนิดสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่ง เช่น การพัฒนาเป็นหัวอ่านนาโน ของเครื่อง Scanning electron microscope (SEM), Tunneling electron microscope (TEM) หรือ Atomic force microscope (AFM) บางชนิดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงการค้าได้แล้ว อย่างไรก็ตามงานวิจัยทางด้านนาโนศาสตร์ในขณะนี้ส่วนใหญ่มักรังอยู่ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งอาจต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งจึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคตข้างหน้าต่อไป (ศุภกร ภูเกิด1 อุดม ทิพรราช1 และ ทิพวรรณ สายพิน : 2549)

2.2.3 ชิงค์ออกไซด์

ZnO หรือ ชิงค์ออกไซด์เป็นที่รู้จักในนาม คาลาไมล์ ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นธาตุธรรมชาติจากสินแร่ สมิธโซไนต์ (Smithsonite) มนุษย์ใช้ชิงค์ออกไซด์ในการรักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณ ชิงค์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ชิงค์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย และยังสามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์

2.2.4 นาโนชิงค์ออกไซด์ (สุพิน แสงสุข : 2551)

นาโนชิงค์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาค ชิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ด้านทานแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้

กระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนชิงค์ออกไซด์(Synthesis of ZnO Nanoparticles) มี 4 วิธี

- Coprecipitation
- Sol-gel
- Hydrothermal
- Flame spray Pyrolysis

2.2.5 โลหะสังกะสีกับสุขภาพ

หากกล่าวถึงซิงค์ (Zinc) หรือสังกะสี หลายคนคงคิดถึงโลหะชนิดหนึ่งที่น่ามาทำเป็นหลังคาบ้าน จาน ชาม รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไม้สอยต่างๆ แต่น้อยคนนักที่จะรู้ว่าแท้จริงแล้วสังกะสีมีความเกี่ยวข้องกับใกล้ชิดกับมนุษย์มากกว่านั้น สังกะสีนอกจากจะเป็นโลหะชนิดหนึ่งแล้วสังกะสีที่อยู่ในรูปออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นยา และยังเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตอีกด้วยสังกะสีเป็นหนึ่งในสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายมนุษย์ คือ เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์ ช่วยในการเจริญเติบโต และระบบต่างๆ ของมนุษย์ส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

2.2.6 บทบาทของนาโนซิงค์ออกไซด์

2.2.6.1 ด้านเภสัชกรรม

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่สามารถเติมในอาหารได้โดยมีความปลอดภัยสูงสามารถใช้ได้ทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ เนื่องจากธาตุสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยปกติร่างกายผู้ใหญ่ต้องการสังกะสีวันละ 15 มิลลิกรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 25 มิลลิกรัม ในสตรีที่ให้นมบุตร ซิงค์ออกไซด์เป็นยาสมานแผล ลดการอักเสบ และยับยั้งแบคทีเรียได้ดี โดยนำมาใช้เป็นยาสมานผิว และรักษาโรคติดเชื้อที่ผิวหนังบางชนิด เช่น โรคเรื้อนกวาง โรคผิวหนังเป็นตุ่มพุพองจากเชื้อแบคทีเรีย โรคกลากเกลื้อน ฝี อาการคันตามผิวหนังและผิวหนังระคายเคือง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้จะอยู่ประมาณ 10 ถึง 20 นาโนเมตร จากการสังเกตภายใต้กล้องกำลังขยายสูง พบว่ามีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี

2.2.6.2 ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์กันแดด

1) นาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรังสี UVA และ UVB นอกจากนี้ยังมีอนุภาคเล็กละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง และปลอดภัย เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กันแดด สำหรับผิวเพื่อปกป้องรังสี UV ซิงค์ออกไซด์มีความปลอดภัยและอ่อนโยนต่อร่างกาย โดยได้รับการยืนยันจาก Food and Drug Administration (FDA) ว่าเป็น 1 ใน 2 ชนิดของสารกันแดดที่เป็นส่วนผสมในประเภทผลิตภัณฑ์ดูแลผิวซึ่งสามารถป้องกันได้ทั้ง UVA และ UVB

2) อนุภาคปกติของซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวเมื่อนำมาทาลงบนผิว ดังนั้นซิงค์ออกไซด์ จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการเป็นครีมหรือผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผิว อย่างไรก็ตาม นาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับการทดสอบโดย Australian commonwealth scientific & industrial research organization (CSIRO) พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของครีมหรือโลชั่นกัน

แดดจะให้สัมผัสอุ่นขึ้น โปร่งใส และไม่มีสีหลังจากที่ทาลงบนผิว นาโนซิงค์ออกไซด์จึงเหมาะที่จะนำมาผสมเป็นสารกันแดดในเครื่องสำอาง

2.2.6.3 อุตสาหกรรมอาหารสัตว์และยา

อาหารสัตว์ที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์จะให้ผลดีกว่าการเติมไมโครซิงค์ออกไซด์ โดยจะทำให้อัตราการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงกว่า ทำให้ลดปริมาณการเติมซิงค์ออกไซด์ในอาหารได้

2.2.6.4 อุตสาหกรรมการผลิตยาง

นาโนซิงค์ออกไซด์ถูกใช้เป็นสารลดแรงดึงผิว ช่วยในการยืดอายุการใช้งานของยางและใช้ในการผลิตยางที่สามารถป้องกันรอยขีดข่วน

2.2.6.5 อุตสาหกรรมเซรามิก

ปกติในอุตสาหกรรมเซรามิกจะใช้ ซิงค์ออกไซด์ในการให้สีขาว จากการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิการเผาเซรามิกให้เหลือเพียง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยหลังการเผาพบว่าผิวของเซรามิกที่ได้มีความมันวาวราวกับกระจก

2.2.6.6 อุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ

ผลิตสิ่งทอป้องกันแบคทีเรียและเชื้อราการกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดตัวเอง ผลิตเส้นใยและสิ่งทอที่สามารถป้องกันรังสี UV ได้

2.2.6.7 อุตสาหกรรมสี

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิตตัวใหม่ ซึ่งมีความสามารถเป็นสารกึ่งตัวนำ การเติมนาโน ซิงค์ออกไซด์ในเรซินจะสามารถนำมาใช้ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ทั้งยังสามารถผลิตสีป้องกันรังสี UV สีที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้

2.3 ข้อมูลแสดงความเป็นพิษของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม)

2.3.1 การได้รับสารนาโนซิงค์ออกไซด์เข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

2.3.1.1 การได้รับสารนาโนซิงค์ออกไซด์เข้าสู่ร่างกาย

1) การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร รูปแบบของซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย อยู่ในรูปของกลุ่มควันที่เกิดจากกระบวนการทางเคมี เช่น กระบวนการวัลคาไนซ์ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้มีซิงค์ออกไซด์แขวนลอยในอากาศ

อาการที่ได้รับสาร	แน่นอก อาเจียน หอบ ปวดหัว หายใจลำบาก เป็นไข้ สั่นหนาว
การป้องกันการได้รับสาร	หากได้รับในปริมาณมากอาจนำไปสู่การเป็นปอดบวมได้ ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปาก ทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

2) การได้รับวัสดุอันตรายทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร	โดยทั่วไปแล้วการได้รับซึ่งค็อกซ์ไอต์โดยทางปากนั้น มักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอา กลุ่มควันสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย ผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะ ปฏิบัติงาน
อาการที่ได้รับสาร	อาเจียน ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้ออ่อนแรง
การป้องกันการได้รับสาร	ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปาก ทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

3) การได้รับวัสดุอันตรายทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร	การได้รับผ่านทางผิวหนังนอกจากการสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการ สังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น
อาการที่ได้รับสาร	ถ้ารับทางผิวหนังที่ไม่มีแผลเปิด มักไม่แสดงอาการใดๆ ถ้ารับทางผิวหนังที่มีแผลเปิด อาจเกิดอาการระคายเคือง และ สามารถเข้าสู่ผิวหนังในชั้นลึกลงไปได้

4) การได้รับวัสดุอันตรายเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร	รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของกลุ่มควันสารเคมี ซึ่งค็อกซ์ไอต์ที่สามารถปลิว หรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย
อาการที่ได้รับสาร	ถ้าเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

2.3.1.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้น สำหรับผู้ที่ได้รับสารซิงค์ออกไซด์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์ ให้สังเกตอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ หากมีอาการเป็นไข้ให้ยาลดไข้ในกลุ่มแอสไพรินได้ โดยปกติแล้วอาการในการได้รับสารชนิดนี้มักเกินไปทางการหายใจ อาการมักจะหายไปภายใน 24 ชั่วโมง หากยังคงมีอาการต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากได้รับสารซิงค์ ออกไซด์ทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับควันสารเคมีขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นหากผู้ป่วยมีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ ตามไปโดยมีปริมาณอย่างน้อย 10 เท่าของปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับเข้าไปทางปากไม่ควรพยายามให้ผู้ป่วยอาเจียนเอง และให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารซิงค์ออกไซด์ทางผิวหนัง ให้ทำโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าและผงซักฟอกในปริมาณที่สัมผัสเป็นเวลานานหลาย นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารซิงค์ออกไซด์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสงให้นำส่งแพทย์

2.3.2 ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

2.3.2.1 ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์จากการทดสอบของ OECD

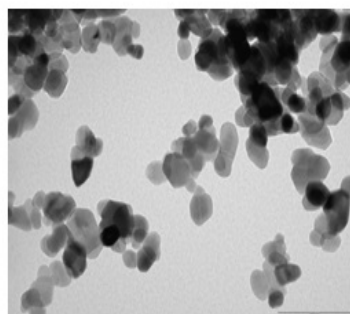
1) ชนิดของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโน โดยมีสมาชิกจากประเทศอังกฤษ (United Kingdom/BIAC) และ ประเทศอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ ออสเตรเลีย เนเธอร์แลนด์และสเปน โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ซึ่งได้กำหนด ชนิดของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษได้แก่ ⁶⁸ZnO particles ซึ่งเป็นซิงค์ออกไซด์ที่มี isotope เป็น 68 โดยได้รับการสนับสนุนตัวอย่างนาโนซิงค์ออก

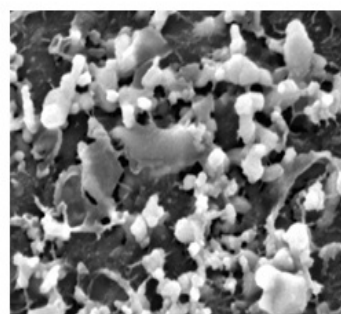
ไซค์เพื่อใช้ในการทดสอบจากบริษัท BASF โดยมีชื่อการค้าของนาโนซิงค์ออกไซด์เป็น Z-Cote และ Z-Cote HP1 นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ทดสอบอีกชนิดหนึ่งมาจากบริษัท Micronisers ภายใต้ชื่อการค้า Nanosun และ ในส่วนของซิงค์ออกไซด์ที่เป็นก้อนอนุภาคนาโน (bulk nanoparticles) มาจากบริษัท Sigma-aldrich ชนิดและลักษณะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ(OECD, 2011) แสดงในตารางที่ 2.1 และลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บางชนิดจากเครื่อง Transmission Electron Microscopy ดังรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดและลักษณะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (NIA, 2010a, 2010b)

กลุ่มสาร	สารทดสอบ			
ชนิด	Z-Cote	Z-Cote HP1	Nanosun	Bulk ZnO
OECD code	NM 112	NM 110	NM 111	NM 113
บริษัทผู้ผลิต	BASF	BASF	Micronisers	Sigma-aldrich
ขนาดอนุภาค	30-50 นาโนเมตร	100 นาโนเมตร	120 นาโนเมตร	>1000 นาโนเมตร



Nanosun-ZnO จากบริษัท Micronisers



Z cote -ZnO จากบริษัท BASF

รูปที่ 2.1 ลักษณะผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นสารทดสอบมาตรฐานในการหาความเป็นพิษของ OECD (NIA, 2010a)

2) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b) ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบอนุภาคซิงค์ออกไซด์และรายงานต่อ OECD โดยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ทั้งในส่วนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แบบก้อนอนุภาคนาโนได้นำมาทดสอบกับไร่น้ำร่วมกับการ ทดสอบเปรียบเทียบโดยใช้ไอออน

ของซิงค์ที่ละลายน้ำได้จากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ซึ่ง พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์นั้นสามารถละลายน้ำได้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น จากการทดสอบความเป็นพิษในช่วง 48 ชั่วโมงพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทำให้เกิดความเป็นพิษที่มากกว่าซิงค์ ออกไซด์ในรูปแบบอื่นๆ โดยพบว่าค่า LC_{50} ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมีไอออนของซิงค์จากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารเปรียบเทียบได้มีค่าความเป็นพิษดังนี้

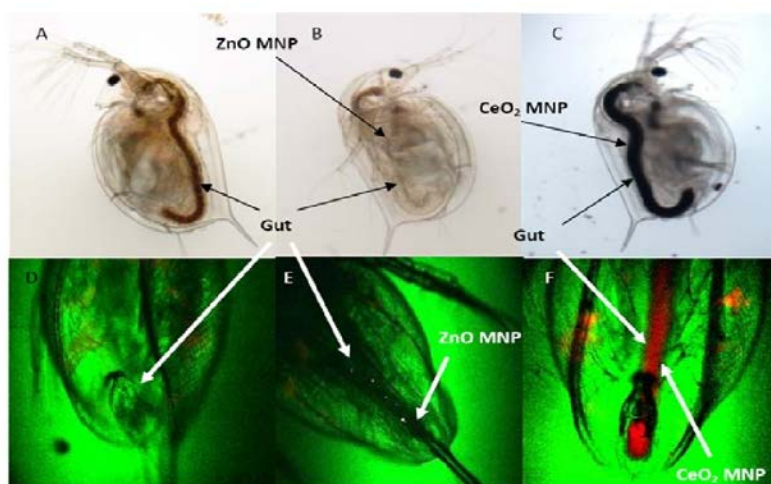
<i>Daphnia magna</i> : LC_{50} – นาโนซิงค์ออกไซด์	1.55 มิลลิกรัม/ลิตร
LC_{50} – ไอออนซิงค์	3.32 มิลลิกรัม/ลิตร

นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังส่งผลกระทบต่ออัตราการกินอาหาร (feeding rate) ของไรน้ำโดยลดลงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบก่อนอนุภาคนาโน และไอออนละลายน้ำ โดยจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ไม่พบการเกิดการรวมตัวของซิงค์ออกไซด์ในหมวดหรือรูปร่างของไรน้ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกรวบน้ำที่ซาลงทำให้การกินอาหารลดลง

จากผลของการถ่ายภาพแบบ Bioimaging โดยใช้ Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) และ optical light microscope ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลที่ได้ยืนยันว่าไรน้ำได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณมาก โดยจากการทดลองไรน้ำได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

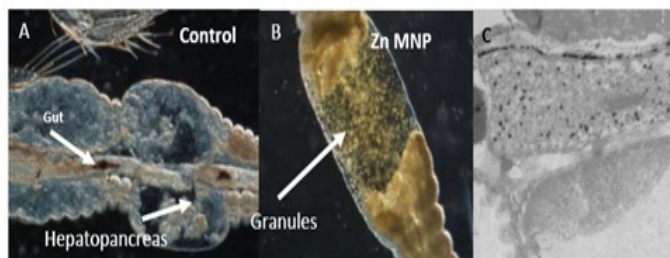
ในการทดสอบกับสัตว์ในกลุ่มของกุ้ง *Corophium volutator* จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b) ต่อ OECD โดยได้มีการทดสอบในลักษณะของพิษเฉียบพลัน โดยการได้รับซิงค์ออกไซด์เป็นเวลา 10 วัน ซึ่งได้เคยมีการรายงานไว้แล้วว่าความเข้มข้นของซิงค์ ออกไซด์ที่ต่ำกว่า 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้การเพิ่มจำนวนประชากร และการเติบโตในการเจริญพันธุ์ลดลง (Conradi and Depledge, 1999) ในการทดสอบความเป็นพิษนี้ ได้ทำการทดสอบซิงค์ออกไซด์ทั้งในรูปแบบของอนุภาคนาโน ก่อนอนุภาคนาโน และไอออนละลายน้ำ โดยพบว่าซิงค์ ออกไซด์ทั้งในรูปแบบของอนุภาคนาโนและก่อนอนุภาคนาโน (bulk) ในน้ำจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบมากกว่าในตะกอนดิน ซึ่งส่งผลต่อชีวปริมาณ (bioavailability) ที่จะพบซิงค์ออกไซด์ในน้ำได้มากกว่าในตะกอนดินชนิดของซิงค์ออกไซด์ส่งผลกระทบต่อ ความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบในอัตราที่ไม่แตกต่างกัน โดยการตายของกุ้งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเป็นหลัก ทั้งนี้สืบเนื่องจากความสามารถในการละลายของสารที่แตกต่างกัน โดยอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์ละลายน้ำได้ร้อยละ 25 ในขณะที่ก่อนอนุภาคนาโนละลายน้ำได้เพียงร้อยละ 12 ทำให้ผลการทดสอบที่ได้ในแง่ของความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษในลักษณะพิษสะสมโดยให้มีการได้รับซิงค์

ออกไซด์ เป็นเวลา 100 วัน พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดในระดับนาโน และขนาดไมครอน รวมทั้งที่อยู่ในรูปละลายน้ำได้นั้นไม่ส่งผลต่อการตายหรือการรอดชีวิตของกุ้ง แต่ส่งผลอย่างมากในส่วนของ การยับยั้งการสืบพันธุ์ โดยเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งช้าลง การเติบโตในการเจริญพันธุ์ (sexual maturity) ช้าลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 2.2 แสดงไรน้ำจากการถ่ายภาพโดยใช้ optical light microscope และ CARs โดย (A) และ (D) เป็นไรน้ำที่ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์, (B) และ (E) ไรน้ำที่ได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 48 ชั่วโมง, และ (C) และ (F) ไรน้ำที่ได้รับซีเรียมออกไซด์ในปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b)

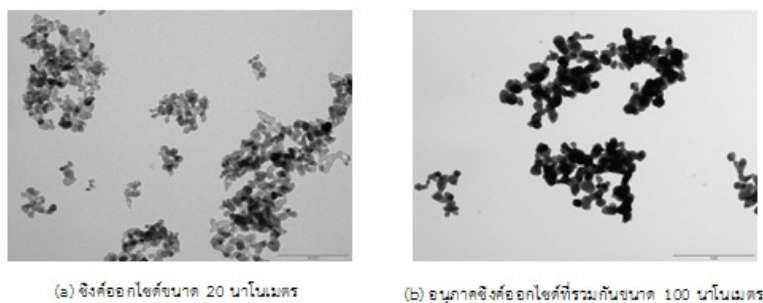
ในการทดสอบความเป็นพิษแบบ sublethal โดยศึกษาการทำลาย DNA ในเลือด โดยความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าความเป็นพิษในส่วนของ การทำลาย DNA เกิดขึ้นเมื่อสัตว์ทดสอบได้รับซิงค์ออกไซด์ในรูปของก้อนอนุภาคนาโน และ ไอออนละลายน้ำ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลต่อการทำลาย DNA ในเลือดต่ำกว่า อนุภาคซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอื่น อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีแนวโน้มที่จะมีค่าชีวปริมาณ (bioavailability) ที่มีอยู่ในตะกอนดินซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของกุ้งในปริมาณที่ต่ำกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอื่น ภาพ Bioimaging ของการสะสมของซิงค์ออกไซด์ในตับอ่อนแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตับอ่อนของสัตว์ในกลุ่มกุ้งจาก Light microscope โดย (A) ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์ (B) ได้รับซิงค์ออกไซด์ และ (C) ภาพจาก Transmission Electron Microscope แสดงเกิด granule ในตับอ่อนเมื่อได้รับซิงค์ออกไซด์ จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b)

3) ความเป็นพิษต่อเซลล์

จากการที่ซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบสำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในครีมกันแดด ทำให้การทดสอบความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ในระยะแรกของ OECD จึงมุ่งเป้าไปยังการทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อผิวหนัง โดยได้ดำเนินการโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม จากรายงานของนักวิจัยประเทศออสเตรเลีย โดยการใช้ครีมกันแดดที่มีสารซิงค์ออกไซด์ชนิด ^{68}ZnO ขนาด 20 นาโนเมตรเป็นส่วนประกอบหลัก และขนาดของอนุภาค ซิงค์ออกไซด์ที่รวมกันมีขนาดประมาณ 100 นาโนเมตร โดยทาครีมกันแดดลงบนผิวหนังของอาสาสมัคร โดยทาวันละสองครั้ง ติดต่อกันห้าวัน จากนั้นจึงมีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะและเลือดไปตรวจสอบหาการปนเปื้อนของซิงค์ออกไซด์ในตัวอย่างที่เก็บได้ ซึ่งงานวิจัยนี้อยู่ในระหว่างการดำเนินการ (NIA, 2010a) ภาพของซิงค์ออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วย Transmission Electron Microscope ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วย

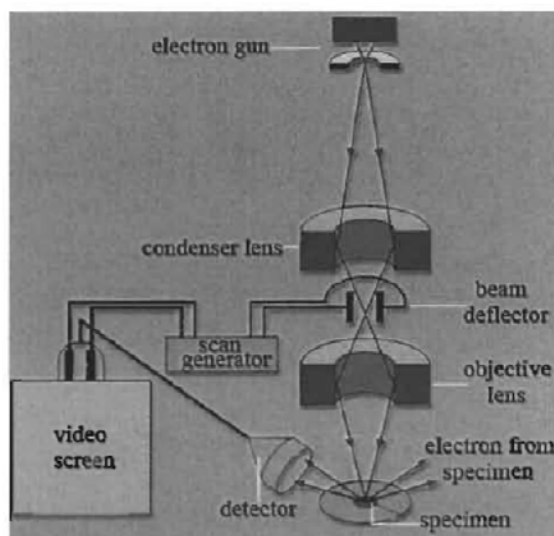
Transmission Electron Microscope (NIA, 2010a)

จากการรายงานของกลุ่มนักวิจัยจาก BIAC ซึ่งได้ทดสอบความเป็นพิษต่อผิวหนังของซิงค์ออกไซด์ โดยใช้ Z-Cote และ Z-Cote HP1 โดยการทดลองนี้ได้ใช้ครีมกันแดดที่มีความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ 5% ผสมอยู่ในครีมกันแดด การทดสอบทำโดยการทาครีมกันแดดที่มีส่วนผสมของสารดังกล่าวลงบนผิวหนัง พบว่าซิงค์ออกไซด์จะมารวมกันเป็นกลุ่มในบริเวณผิวของหนังกำพร้า (stratum corneum) ทั้งในกรณีที่ครีมกันแดดได้รับการกระตุ้นจากแสง UVB และไม่ได้รับแสง ในกรณีที่สารซิงค์ออกไซด์ได้รับแสง UVB นั้น พบว่าไม่เกิดการแตกตัวของซิงค์ออกไซด์ลงไปยังผิวหนัง(NIA, 2010a)

2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

(ศศิธร อำนางรุ่งตระกูล, 2551)

วัสดุระดับนาโนเป็นวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตรดังนั้นการตรวจสอบเชิงโครงสร้างและสัณฐานวิทยาจึงมีความจำเป็นต้องใช้ SEM ในการวิเคราะห์ หลักการทำงานของ SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) โดยกระทำ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ อิเล็กตรอนที่ผลิตได้จะถูกรวมกลายเป็นลำอิเล็กตรอนด้วยเลนส์รวบรวมรังสี ลำอิเล็กตรอนจะส่องกราดลงบนพื้นผิวตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) จากนั้นจะทำการตรวจวัดสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ และแปลงไปเป็นสัญญาณปรากฏภาพบนจอรับภาพออกมาในลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ รูปที่ 2.5 แสดงระบบการทำงานของเครื่อง SEM



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่อง SEM (ศศิธร อำนาจรุ่งตระกูล, 2551)

2.3.1 การประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในงานวิจัย SEM ใช้ในงานวิจัย 2 ด้านหลัก คือ ถ่ายภาพสภาพพื้นผิว แบบสามมิติและวิเคราะห์ธาตุซึ่งตัวอย่างจะมาจากหลากหลาย สาขาเช่น ด้านวัสดุศาสตร์(การถ่ายภาพพื้นผิวและวิเคราะห์ธาตุ) ด้านชีวภาพ (พื้นผิวดตัวอย่างที่มีขนาดเล็กแบบสามมิติ) ตัวอย่าง ทางการแพทย์ เกษษกรรม ทันตกรรม ตัวอย่างจากงานด้าน วิศวกรรมวัสดุ ตัวอย่างจากงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ตัวอย่างด้านอาหารหรือเทคโนโลยีชีวภาพ วิเคราะห์ตัวอย่างจาก เหมืองแร่ ตัวอย่างจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์และอื่นๆ การเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM ไม่ ้ซับซ้อนแต่มีความ หลากหลาย งานทางชีวภาพต้องผ่านการ fix การ Dehydrate หรือการทำให้แห้งโดยใช้จุดวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ เครื่อง Critical point drier (CPD) หรือ Freeze Drier ส่วนงาน ทางด้านวัสดุหรือกายภาพ เช่น ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือ ผง สามารถนำไปติดบนเทปนำไฟฟ้าสองหน้าซึ่งอยู่บนสตัป จากนั้นจึง ทำการ โ้ก้ทด้วยทองคำ หรือคาร์บอน เพื่อช่วยให้เกิดการสะท้อน ของอิเล็กตรอน งานที่ต้องใช้ Backscattered electron detector (BSE) ซึ่งเป็นตัวตรวจจับสัญญาณ primary electron ที่ชน ตัวอย่าง แล้วกระเจิงย้อนกลับในทิศทางเดิม หากผ่านการขัดให้ ผิวหน้าเรียบจะให้สัญญาณที่ดี ทุกขบวนการของการวิเคราะห์ด้วย SEM มีความสำคัญ ต่อคุณภาพของภาพที่จะถูกบันทึกและผลการวิเคราะห์ ดังนั้น ขั้นตอนต่างๆเช่น การเตรียมตัวอย่าง การ fix การ dehydrate การเก็บรักษาชิ้นงานตัวอย่าง การโ้ก้ท การตั้งค่าใช้งาน SEM การเลือกจุดบันทึกภาพที่ตอบโจทย้รวมไปถึงรายละเอียดอื่นๆ ต้องถูกใส่ใจเป็นอย่างยิ่ง

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)

การวิเคราะห์ธาตุโดยอาศัยหลักการ EDS เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis) สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ในตัวอย่างทั้งเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (quantitative analysis) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุได้ที่ธาตุหรือหลายๆ ธาตุพร้อมๆ กัน ตั้งแต่คาร์บอนถึงยูเรเนียม นอกจากนั้นยังสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือผง สถานะการทดสอบสามารถทำได้ทั้งในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและแก๊สฮีเลียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน มีการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์ โปรแกรมของระบบวิเคราะห์และคอมพิวเตอร์ ให้สะดวกในการใช้งาน ทำให้สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานที่ให้สเปกตรัมซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง จึงทำให้เทคนิคนี้เป็นที่นิยมทั้งในด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ ธรณีวิทยา สิ่งแวดล้อม และการเกษตร



รูปที่ 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (ศศิธร อำนาจรุ่งตระกูล, 2551)

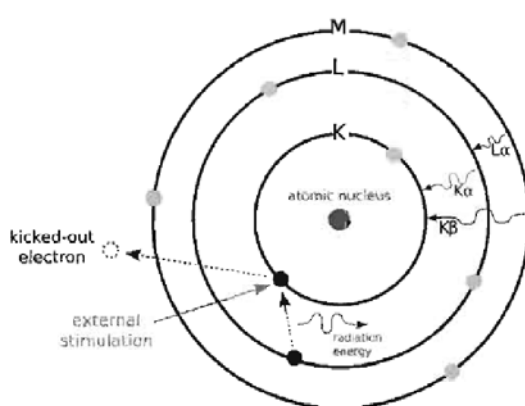
รังสีเอกซ์เกิดจากสถานะการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอม ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี และที่มนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกทางอิเล็กทรอนิกส์ รังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray) มีลักษณะเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานเดี่ยว (monochromatic) เพราะเกิดจากการลดระดับพลังงานที่แน่นอน

2. รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-ray) มีลักษณะเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่อเนื่อง กระจ่ายจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด บางครั้งเรียกว่า polychromatic หรือ white X-ray

ระบบ EDS จะวัดเฉพาะพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ที่เกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะพุ่งชน อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรที่ใกล้นิวเคลียสแล้วหลุดออกจากวงโคจรทำให้เกิดที่ว่างในวงโคจรนั้น อิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไป(วงนอก) ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะ

กระโดดเข้ามาแทนที่พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีเอกซ์ ธาตุแต่ละธาตุจะปล่อยรังสีออกมาในรูปรังสีเอกซ์ และธาตุแต่ละธาตุจะปล่อยรังสีเอกซ์ออกมามีระดับพลังงานที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่ซ้ำกับธาตุอื่น ทำให้สามารถทราบชนิดของธาตุได้อย่างแม่นยำ โดยพิจารณาค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ ซึ่งระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS นี้สามารถวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้เพียงในเวลาไม่กี่วินาที



รูปที่ 2.7 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy-dispersive_X-ray_spectroscopy

การวิเคราะห์นี้มีข้อจำกัดตรงที่สามารถวิเคราะห์หองค์ประกอบธาตุที่ผิววัสดุความลึกไม่เกิน 1 ไมโครเมตรเท่านั้น และการเคลือบผิวของชิ้นงานตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิด charging ต้องไม่หนามาก และวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิว (นิยมใช้คาร์บอน) และสัญญาณที่ได้จากวัสดุที่เคลือบผิวจะต้องไม่รบกวนสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์

2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตติ หนูแก้ว (2556) กล่าวว่าจากการที่ราคาผลมะนาวในท้องตลาดมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะช่วงหน้าแล้งราคาที่ผลละ 7-10 บาท เนื่องจากในช่วงหน้าแล้งอากาศร้อน แห้งแล้ง เกษตรกรไม่สามารถปลูกมะนาวและได้ผลผลิตตามความต้องการของตลาด แต่พอเข้าหน้าฝน ต้นมะนาวก็จะถูกรบกวนจากโรคแคงเกอร์ ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ทำให้ผลผลิตลดลง ต้นทุนการผลิตสูง ทางวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีฯ จึงได้ร่วมกับศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีเพื่อการเกษตร ดำเนินงาน จ.สุพรรณบุรี เพื่อศึกษาค้นคว้าและวิจัยแนวทางช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถเรียนรู้วิธีการปลูกมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ล่าสุดสามารถคิดค้นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้กับต้นมะนาวได้สำเร็จ จากนั้นนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการฉีดพ่นที่ต้นมะนาวในอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 200 ลิตร ระยะเวลาในการฉีดพ่นทุก 10-15 วันต่อครั้ง พบว่า เมื่อใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถทำให้ผลมะนาวที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ผลกลมสวย ผิวเขียวมันเงางาม ไม่พบรอยจุดบนสีน้ำตาลตามผล และไม่ถูกทำลายจากเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคแคงเกอร์ในมะนาวอีกต่อไป รวมถึงผลผลิตที่ได้มีปริมาณมากกว่าที่ไม่ได้ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ถึง 20%

อรสา ภัทรไพบุญชัย (2552) ได้ทำการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจล และกระบวนการสถานะของแข็ง จากซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารเพิ่มความเสถียร 2 ชนิดคือซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และชนิดของสารเพิ่มความเสถียรต่อโครงสร้างผลึก ค่าแลตทิซพารามิเตอร์ ขนาดผลึกเฉลี่ย ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและรูปร่างของนาโน

ซิงค์ออกไซด์ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD) แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล นอกจากนี้การวิเคราะห์รูปร่างและขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นรูปร่างที่เป็นทรงกลม ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 183–431 นาโนเมตร เมื่อสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล โดยขนาดผลึกและขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเร็วรอบของการกวน เพิ่มขึ้น ขณะที่นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการสถานะของแข็ง มีขนาดอนุภาค 87–197 นาโนเมตร โดยมีรูปร่างเป็นทั้งทรงกลมและรูปร่างคล้ายดอกไม้ ซึ่งขึ้นกับปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและรูปร่างของนาโนซิงค์ออกไซด์มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นกรดของทางการค้าจากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้น (ZSS-F) ในยางธรรมชาติ เปรียบเทียบกับนาโนซิงค์ออกไซด์ทางการค้า (ZoNop®) และซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้ในยาง (ZRG) ต่อเวลาในการวัลคาไนซ์ การทดสอบการบ่มเร่ง ลักษณะการกระจายตัวของนาโนซิงค์

ออกไซด์ในเมทริกซ์ของธรรมชาติ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาด พบว่าเมื่อใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวกระตุ้น แทนซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้ในยาง ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น และสมบัติเชิงกลหลังการบ่มแรงไม่แตกต่างกับก่อนการบ่มแรง โดยที่สามารถใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณน้อยกว่าซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้ในยางได้ถึง 10 เท่า นอกจากนั้นสมบัติอื่นๆ เช่น เวลาในการวัลคาไนซ์ ความเสถียรทางความร้อนความแข็ง ความขุ่น ความหนาแน่นเชื่อมขวางของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ในขณะที่ร้อยละการบวมตัวของยางธรรมชาติลดลง และเวลาในการสกอรัช (TS2) เมื่อปริมาณของนาโน ซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีกว่าซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้กับยาง (ZRG) ในการวัดปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างของซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry (XRF) พบว่าซิงค์ออกไซด์ทั้ง 3 ชนิด (ZoNop®, ZSS-F และ ZRG) มีธาตุสังกะสีประมาณ 99% ส่วนธาตุอื่นๆที่พบในนาโนซิงค์ออกไซด์ได้แก่ แคลเซียม แมงกานีสและเหล็กปนเปื้อน ขณะที่ซิงค์ออกไซด์ (ZRG) มีธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัสและซิลิเนียมปนเปื้อน

สำหรับการศึกษาความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียด้วยซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นและขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ต่อแบคทีเรียแกรมบวก และแกรมลบที่แยกจากแผ่นยางธรรมชาติที่ขึ้นรา โดยทดสอบด้วยวิธี agar well diffusion, colorimetric broth micro dilution และ time-kill curve พบว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคลดลงและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิดแกรมบวก ได้มากกว่าแกรมลบ ซึ่งในการทำละลายเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) สามารถใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง และใช้เวลาในการทำละลายสั้นกว่า 2 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับการใช้ซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้กับยาง ขณะที่ใช้นาโนซิงค์ ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเพียง 0.10 %w/v และ 0.20% w/v สามารถทำลายแบคทีเรีย *Bacillus sp.01* (แกรมบวก) ได้ในเวลา 24 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ผู้วิจัยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

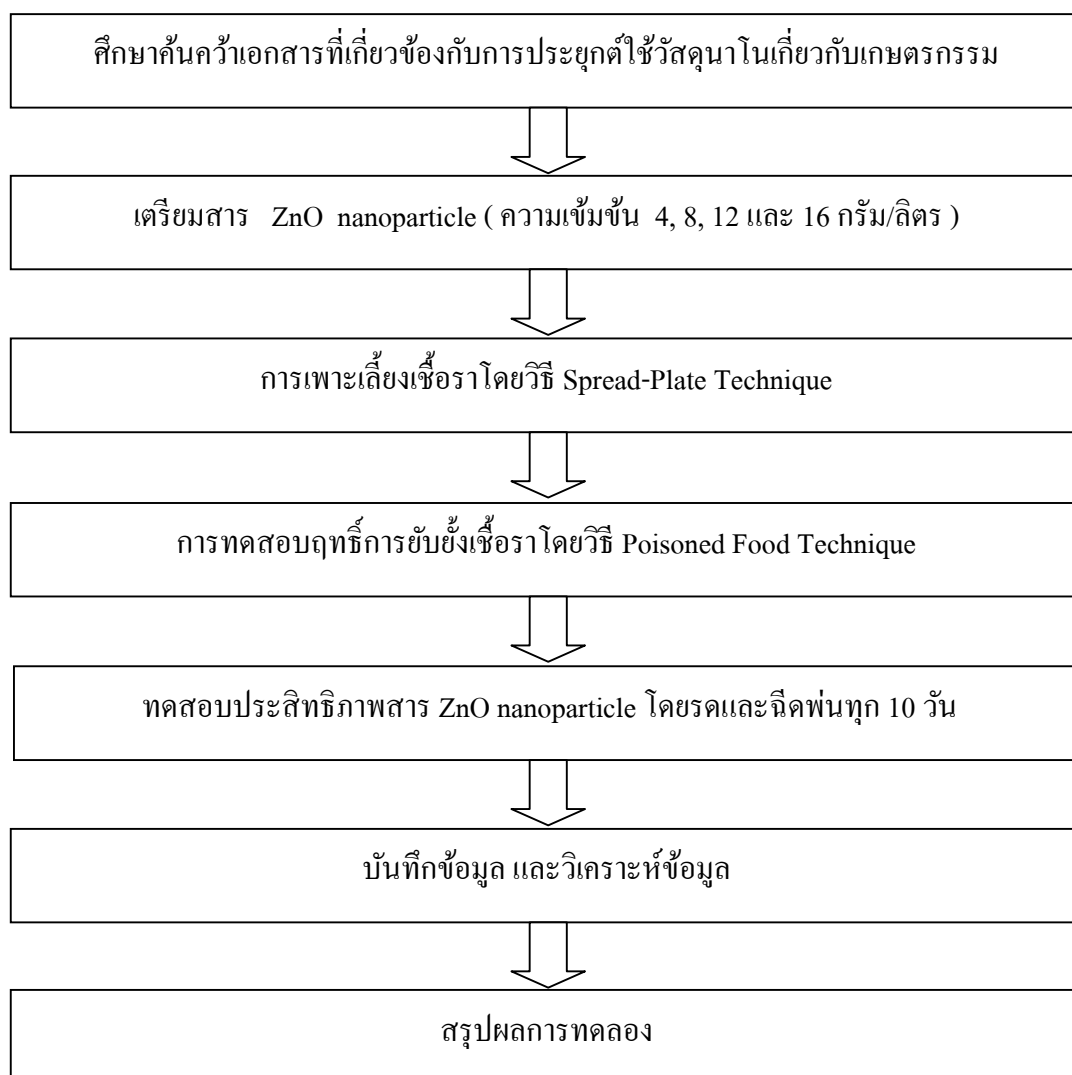
3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อควบคุมอุณหภูมิ
2. ตู้ปลอดเชื้อ
3. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ
4. หลอดทดลอง
5. ปีกเกอร์
6. คีม
7. แท่งคนสาร
8. น้ำกลั่น
9. ตาชั่ง 2 ตำแหน่ง
10. เครื่องฉีดพ่นสาร
11. ถังหมักมะม่วง
12. ขวดรูปชมพู่
13. จานเพาะเชื้อ
14. ถังมือ
15. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องตาแบบแสง
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป PDA
2. ผงนาโนซิงค์ออกไซด์ (โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งๆ เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแตงกวา

1. ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนเกี่ยวกับเกษตรกรรม
2. เลือกพวงนาโนซิงค์ออกไซด์ จากแหล่งจำหน่าย (เนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่มีอุปกรณ์ในการผลิตวัสดุนาโน และเพื่อลดเวลาในการปฏิบัติงาน)
3. เลือกพันธุ์แตงกวาที่เกษตรกรนิยมปลูก
4. กำหนดปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 เดือนไซ คือ 4 8 12 และ 16 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
5. เตรียมดินปลูกแตงกวาโดยควบคุมชนิดดินที่ใช้ในการเพาะแตงกวา พื้นที่ที่ใช้ในการปลูกแตงกวา ปริมาณของน้ำ และสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้รดแตงกวาแต่ละครั้ง
6. การเตรียมดินเพาะกล้า อัตราส่วนดิน : ปุ๋ยคอก 3:1 ต่อต้นกล้า 1 ไร่ คลุกให้เข้ากันแล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกขนาด 6×10 เซนติเมตร เพื่อเตรียมสำหรับหยอดเมล็ดแตงกวา
7. ทำการบ่มเมล็ด โดยนำเมล็ดบรรจุถุงพลาสติกที่เจาะรูพรุน แซในสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อป้องกันเชื้อรา ผสมอัตรา 4 8 12 และ 16 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แช่เมล็ดนาน 30 นาที จากนั้นนำมาแช่น้ำ 4 ชั่วโมง แล้วจึงบ่มในผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น บ่มในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ซึ่งจะพบว่ามีรากงอกยาว 0.5 เซนติเมตร จึงนำไปเพาะต่อไป
8. การหยอดเมล็ดลงถุง นำเมล็ดที่ได้บ่มไว้หยอดลงแต่ละถุง จำนวนถุงละ 1 เมล็ด แล้วใช้ดินผสมหยอดกลบบางประมาณ 1 เซนติเมตร
9. เมื่อต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 3-4 ใบ จะอยู่ในระยะพร้อมที่จะย้ายปลูกลงดิน
10. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของแตงกวา หลังจากนำต้นกล้าลงแปลงปลูก ทุกๆ 7 วัน โดยวัดขนาดลำต้น ความสูง จำนวนใบ
11. เมื่อผลผลิตพร้อมเก็บเกี่ยวทำการเก็บเกี่ยว
12. วิเคราะห์ผลการทดลอง
13. เปรียบเทียบผลผลิตของต้นแตงกวาที่รดสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับ ผลผลิตที่ได้จากต้นแตงกวาที่ไม่ได้รดสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์
14. ตรวจสอบความเป็นพิษของผลแตงกวาโดยใช้เครื่องมืออิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (scanning electron microscope) ทดสอบปริมาณสารตกค้างในผลแตงกวา

ตอนที่ 2 การศึกษาการยับยั้งเชื้อราของเมื่อนิดฟอสฟอรัสนาโนซิงค์ออกไซด์

1. การเตรียมอาหาร PDA สำหรับเลี้ยงเชื้อ

เตรียมอาหาร PDA สำหรับเลี้ยงเชื้อตามสูตรโดยล้างมันฝรั่งให้สะอาด ปอกเปลือกมันฝรั่ง ออกหั่นเนื้อมันฝรั่งเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งมันฝรั่ง 200 กรัมใส่ในหม้อเติมน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาด 500 มิลลิลิตรนำไปต้มจนเดือด รอนมันฝรั่งนุ่มอย่าทำให้ เนื้อมันฝรั่งและ นำมากรองเอาแต่น้ำโดยใช้ผ้าขาวบางเติมน้ำตาลกลูโคส 20 กรัม คนให้ละลาย ปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาดให้ได้ 500 มิลลิลิตร ซึ่งวัน 20 กรัม ใส่ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด เมื่ออุ่นละลายดีแล้ว นำไปผสมกับน้ำต้มมันที่ผสมกลูโคส และปรับปริมาตรน้ำให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร พร้อมอุ่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำอาหาร PDA ที่ได้เทลงบนจานที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวก็คว่ำจาน

2. การแยกเชื้อจากใบแตงกวา

ทำการตัดชิ้นใบแตงกวาที่มีแผลให้มีขนาดเล็ก (ประมาณ $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$) นำไปฆ่าเชื้อที่ผิว ภายนอก (Surface sterilization) โดยการแช่ในชิ้นส่วนของพืชในสารละลาย Sodium hypochlorite (NaClO) ความเข้มข้น 1% แช่นาน 3-5 นาที ใช้ปากคีบที่ฆ่าเชื้อแล้วคีบชิ้นพืชมาล้างในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 3 ครั้ง ใช้ปากคีบคีบชิ้นพืชขึ้นมาจากน้ำ ทำการสลัดน้ำออกและวางชิ้นพืช ลงบนกลางจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร PDA จำนวน 1 ชิ้นต่อจาน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศา เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นสังเกตลักษณะของสปอร์ของเชื้อราที่เจริญขึ้นจากกล้องจุลทรรศน์

3. การทดสอบฤทธิ์สารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา

ทดสอบโดยวิธี poisoned food technique (สุภัทรา จามกระโทก และคณะ, 2547) โดยเตรียมอาหาร PDA ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์อาหาร PDA ให้ได้ความเข้มข้น 4, 8, 12 และ 16 กรัม/ลิตร จากนั้นเทอาหารที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในจานเลี้ยงเชื้อ ในส่วนของชุด ควบคุมจะไม่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ หลังจากผิวหน้าของอาหารที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ และชุดควบคุมแห้งสนิท นำชิ้นเชื้อราที่ได้จากการใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะเส้นใยรอบโคโลนีเชื้อราที่มีอายุ 5 วัน วางลงบนผิวหน้าอาหารที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ นำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 5 วัน จึงทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของโคโลนีของเชื้อรา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำมาคำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของ รา โดยใช้สูตรดังนี้ (รัชนี บุญเรือง, 2552)

$$\text{ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา} = \frac{C - T}{C} \times 100$$

C = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของโคโลนีราที่เจริญบนอาหาร PDA (ชุดควบคุม)

T = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของโคโลนีราที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อรา โดยใช้ (One-way Anova) ที่ค่าความเชื่อมั่น 0.05 ($P < 0.05$)

3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์

การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยการนำสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 4, 8, 12 และ 16 กรัม/ลิตร รดและฉีดพ่นที่ใบแตงกวา โดยฉีดพ่นตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดโดยจะฉีดพ่นทุกๆ 10 วัน วิเคราะห์ผลผลิตที่ได้เทียบกับแตงกวาที่ไม่ได้รดหรือฉีดพ่นสารนาโนซิงค์ออกไซด์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ครั้งนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแตงกวา
- 4.2 การศึกษาการยับยั้งเชื้อราของเมื่อนิคมพ่นสารนาโนซิงค์ออกไซด์
- 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์
- 4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแตงกวา

4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแตงกวา

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นแตงกวา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโต ตั้งแต่เริ่มนำต้นกล้าลงแปลงปลูกโดยทำการบันทึก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ และความยาว โดยทำการบันทึกผลทั้งสิ้นจำนวน 4 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของแตงกวา

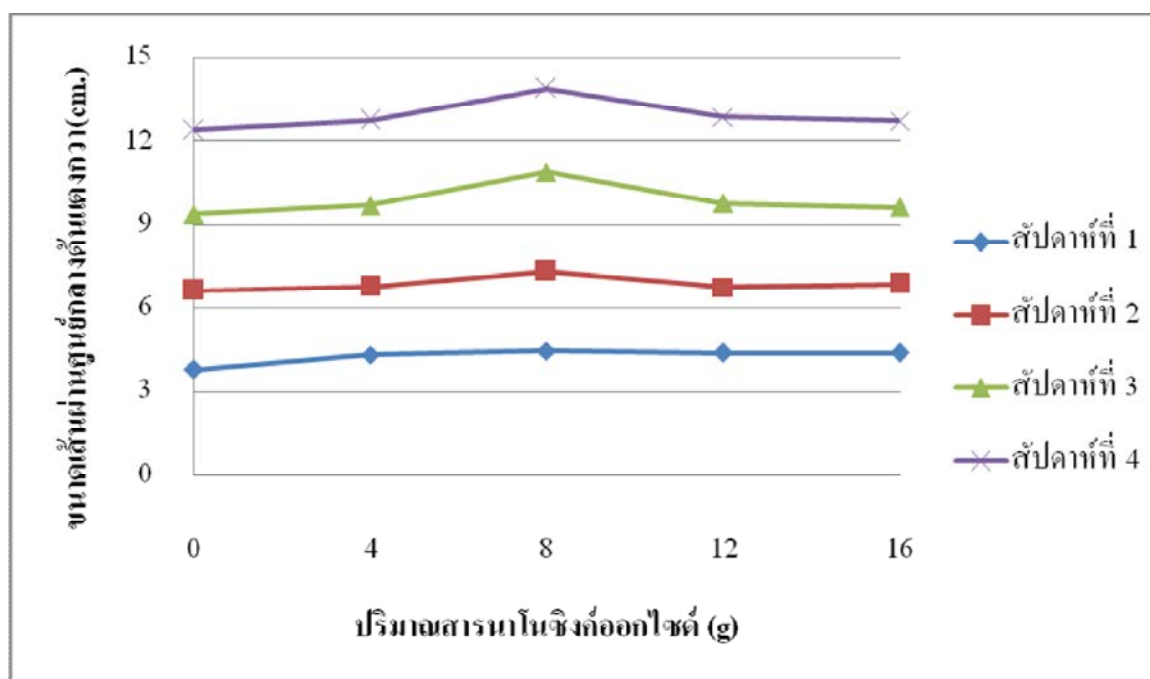
สัปดาห์ที่	ความเข้มข้น สารนาโนซิงค์ ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของลำ ต้นเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ)	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)
1	0	3.79	5.4	12.2
	4	4.32	5.8	15.1
	8	4.45	6	15.4
	12	4.39	5.8	13.8
	16	4.38	5.8	14.6
2	0	6.65	13.2	28.6
	4	6.77	13.5	34.7
	8	7.34	16.3	36.1
	12	6.75	14.8	31.4
	16	6.88	14.8	34.3
3	0	9.38	44.7	81.2
	4	9.69	51.4	91.3
	8	10.9	70.4	91.7
	12	9.76	54.8	81.7
	16	9.63	46.8	90.7
4	0	12.4	72.9	110.4
	4	12.75	73.8	111.8
	8	13.91	102.5	113.5
	12	12.88	82.6	109.0
	16	12.74	75.4	113.3

จากตารางที่ 4.1 ผลการเจริญเติบโตของแตงกวาเมื่อพิจารณารายสัปดาห์ พบว่า

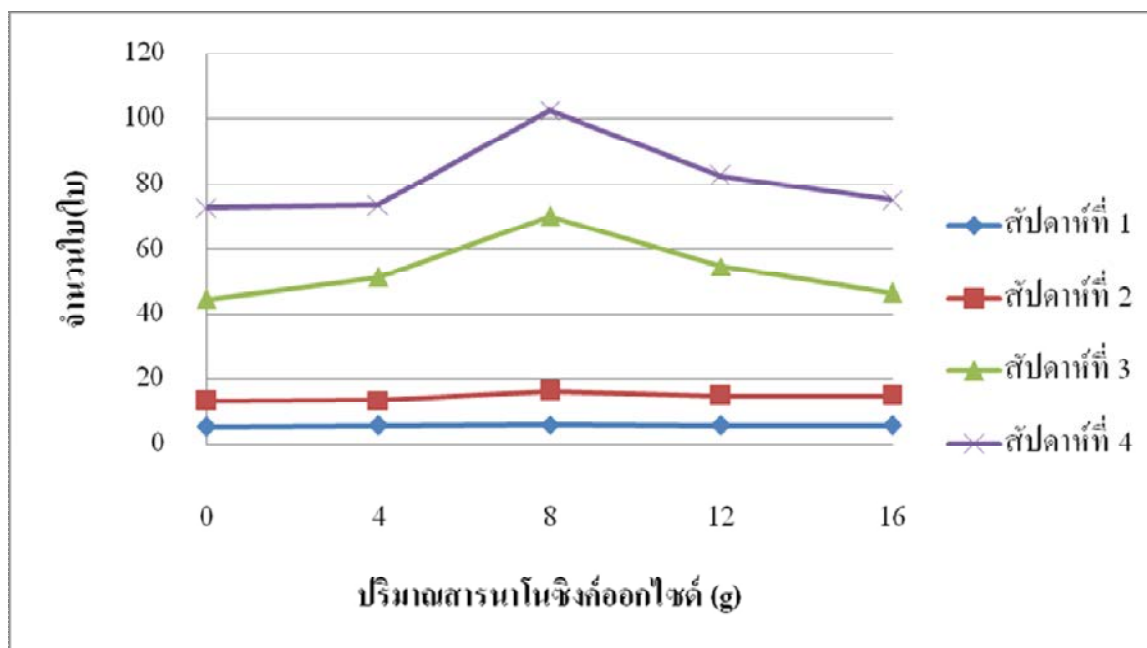
สปีดค่าที่ 1 ต้นแดงกวางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (ขนาด 4.45 มิลลิเมตร) รองลงมา ได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 กรัม/ ลิตร (ขนาด 4.39 มิลลิเมตร) ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (ขนาด 4.38 มิลลิเมตร) และต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (ขนาด 4.32 มิลลิเมตร) ตามลำดับ และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดได้แก่ ต้นที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขนาด 3.79 มิลลิเมตร) และต้นแดงกวางมีจำนวนใบเฉลี่ย มากที่สุดได้แก่ ต้นแดงกวางที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (จำนวน 6 ใบ) รองลงมาได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 12 และ 16 กรัม/ ลิตร (จำนวน 5.8 ใบ) และต้นแดงกวางที่มีจำนวนใบที่น้อยที่สุดได้แก่ ต้นที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (จำนวน 5.4 ใบ) เมื่อพิจารณาความยาวหลังจากรดแดงกวางด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า ต้นแดงกวางที่มีความยาวมากที่สุด ได้แก่ ต้นแดงกวางที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (ความยาว 15.4 เซนติเมตร) รองลงมา ได้แก่ ต้นแดงกวางที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (ความยาว 15.1 เซนติเมตร) ต้นแดงกวางที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (ความยาว 14.6 เซนติเมตร) และต้นแดงกวางที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 กรัม/ ลิตร (ความยาว 13.8 เซนติเมตร) และความยาวน้อยที่สุด ได้แก่ ต้นที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (ความยาว 12.2 เซนติเมตร)

สัปดาห์ที่ 2 ต้นแดงก้ามมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (ขนาด 7.34 มิลลิเมตร) รองลงมา ได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (ขนาด 6.88 มิลลิเมตร) ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (ขนาด 6.77 มิลลิเมตร) และต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 กรัม/ ลิตร (ขนาด 6.75 มิลลิเมตร) ตามลำดับ และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดได้แก่ ต้นที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขนาด 6.65 มิลลิเมตร) และต้นแดงก้ามมีจำนวนใบเฉลี่ย มากที่สุดได้แก่ ต้นแดงก้ามที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (จำนวน 16.3 ใบ) รองลงมา ได้แก่ ต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 และ 16 กรัม/ ลิตร (จำนวน 14.8 ใบ) และต้นที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (จำนวน 13.5 ใบ) และต้นแดงก้ามที่มีจำนวนใบที่น้อยที่สุดได้แก่ ต้นที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น (จำนวน 13.2 ใบ) เมื่อพิจารณาความยาวหลังจากรดแดงก้ามด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า ต้นแดงก้ามที่สี

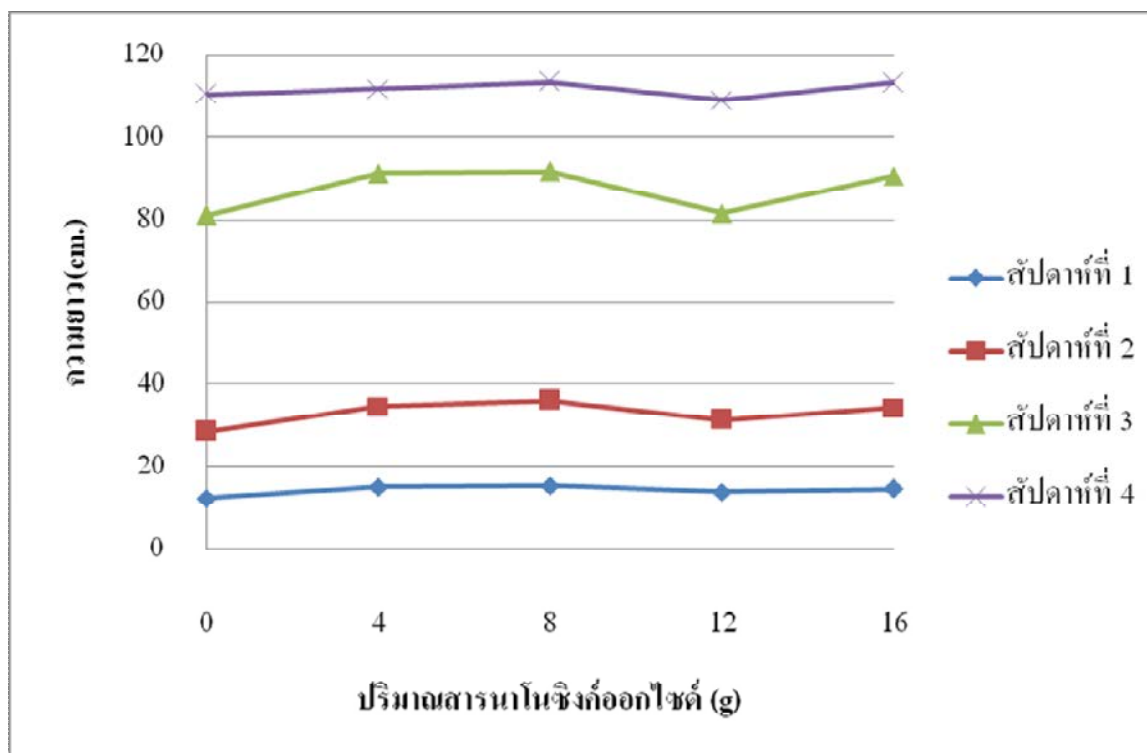
ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (ขนาด 12.74 มิลลิเมตร) ตามลำดับ และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดได้แก่ ดันที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น (ขนาด 12.4 มิลลิเมตร) และดันแดงกามีจำนวนใบเฉลี่ย มากที่สุดได้แก่ ดันแดงกว่าที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (จำนวน 102.5 ใบ) รองลงมา ได้แก่ ดันที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 กรัม/ ลิตร (จำนวน 82.6 ใบ) ดันที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (จำนวน 75.4 ใบ) และดันที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (จำนวน 73.8 ใบ) และดันแดงกามีจำนวนใบที่น้อยที่สุดได้แก่ ดันที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น (จำนวน 72.9 ใบ) เมื่อพิจารณาความยาวหลังจากรดแดงกาด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า ดันแดงกามีความยาวมากที่สุด ได้แก่ ดันแดงก่าที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ ลิตร (ความยาว 113.5 เซนติเมตร) รองลงมา ได้แก่ ดันแดงก่าที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 16 กรัม/ ลิตร (ความยาว 113.3 เซนติเมตร) ดันแดงก่าที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 กรัม/ ลิตร (ความยาว 111.8 เซนติเมตร) และดันที่ไม่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (ความยาว 110.4 เซนติเมตร) และความยาวน้อยที่สุด ได้แก่ ดันแดงก่าที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 กรัม/ ลิตร (ความยาว 109 เซนติเมตร)



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลการเจริญเติบโต

ก. แสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ข. แสดงการเปรียบเทียบจำนวนใบ

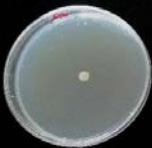
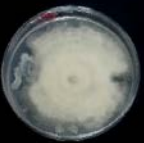
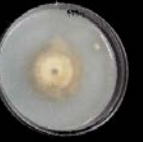
ค. แสดงการเปรียบเทียบความยาว

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ และความยาวทั้ง 4 สัปดาห์ พบว่า ต้นแตงกวาที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้นที่ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ และความยาวมากที่สุด และรองลงมาได้แก่ ความเข้มข้น 16 4 และ 12 กรัม/ลิตร และต้นแตงกวาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ และความยาว น้อยที่สุดได้แก่ต้นแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์

4.2 การศึกษาการยับยั้งเชื้อราของเมื่อนิฉินสารนาโนซิงค์ออกไซด์

การทดสอบฤทธิ์สารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราแป้ง โดยวิธี poisoned food technique เมื่อทำการวัดการเจริญของเชื้อรา เมื่อครบ 5 วัน พบว่า ความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม/ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีมากที่สุด รองลงมาคือความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น 12 กรัม/ลิตร และความเข้มข้น 16 กรัม/ลิตร ตามลำดับ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ปริมาณ สารนา โนซิงค์ ออกไซด์ (g/l)	เริ่มทดสอบ			วันที่ 5		
0						
4						
8						
12						
16						

ตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและการเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ความเข้มข้น สารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)	ร้อยละยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา
4	48.07 ± 1.99^a
8	49.72 ± 2.25^{ab}
12	52.68 ± 3.81^{bc}
16	54.36 ± 2.82^c

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 16 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด (ร้อยละ 54.36) รองลงมาคือความเข้มข้น 12 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 52.68) ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 49.72) และความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 48.07) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี พบว่าเมื่อใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทางสถิติทั้ง 4 ความเข้มข้นโดยใช้วิธีโดย One-way Anova พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่าความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 และ 8 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 8 และ 12 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 12 และ 16 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 และ 16 กรัม/ลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์

จากการทดสอบบรรดสารนาโนซิงค์ออกไซด์และการฉีดพ่นบนต้นแตงกวาพบว่าผลของแตงกวามีลักษณะตรงยาวผิวเรียบ ขนาดของผลยาวประมาณ 8-9 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงขนาดของผลแตงกวา

ตารางที่ 4.4 แสดงผลผลิตของแตงกวา

ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	ร้อยละของผลผลิตเมื่อเทียบกับแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์
4	26.73
8	67.28
12	57.60
16	53.92

จากตารางที่ 4.4 พบว่าที่ แตงกวาที่ถูกรดและฉีดพ่นด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร ให้ผลผลิตมากที่สุด (ร้อยละ 67.28 ของผลผลิตเมื่อเทียบกับแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์

ออกไซด์) รองลงมา ได้แก่ แดงกวาที่ถูกรดและฉีดพ่นด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 16 และ 4 กรัม/ลิตร ตามลำดับ (ร้อยละ 57.60, 53.92, 26.73 ของผลผลิตเมื่อเทียบกับแดงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ตามลำดับ)

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแดงกวา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ใช้โหมดวิเคราะห์ธาตุ (EDS) ในผลของแดงกวาได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแดงกวาด้วยเครื่อง SEM

ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รดและฉีดพ่นบนต้นแดงกวา (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์จากผลแดงกวา (ร้อยละ)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
4	0.15	0.09	0.12 ± 0.04
8	0.12	0.07	0.10 ± 0.04
12	0.13	0.05	0.09 ± 0.06
16	0.06	0.12	0.09 ± 0.04

จากตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแดงกวาด้วยเครื่อง SEM พบว่า ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์บนผลแดงกวามากที่สุด ได้แก่ ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รดและฉีดพ่นบนต้นแดงกวา 4 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 0.12 ± 0.04) รองลงมา ได้แก่ ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รดและฉีดพ่นบนต้นแดงกวา 8 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 0.10 ± 0.04) และความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รดและฉีดพ่นบนต้นแดงกวา 12 และ 16 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 0.09 ± 0.06 , 0.09 ± 0.04 ตามลำดับ)

เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งค่าความเป็นพิษกำหนดไว้ว่า ความเป็นพิษเฉียบพลันเมื่อได้รับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ทางปาก คือ มากกว่า 2 กรัม / น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (LD_{50}) จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ในผลตรวจพบว่ามีความเข้มข้นอยู่ที่ร้อยละ 0.09 – 0.12 หมายความว่า หากคน 1 กิโลกรัมจะมีสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ปนเปื้อนจำนวนตั้งแต่ 0.9- 1.2 กรัม ซึ่งถือว่าปลอดภัย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวา โดยใช้สารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ในครั้งนี้สามารถสรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

1. การศึกษาผลการเจริญเติบโตของแตงกวาที่ถูกกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 8 12 และ 16 กรัม/ลิตร โดยจากผลการทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 8 กรัม/ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ และความยาวมากที่สุด รองลงมาคือ 16 4 และ 12 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และต้นแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ และความยาว น้อยที่สุด ซึ่งจะพบว่าปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของแตงกวา โดยแตงกวาได้รับปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสมจะเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่แตงกวาได้รับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณที่มากเกินไปหรือน้อยไปจะส่งผลให้การเจริญเติบโตช้า

2. การทดสอบฤทธิ์สารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4 8 12 และ 16 กรัม/ลิตร โดยวัดการเจริญของเชื้อรา เมื่อครบ 5 วัน พบว่า ความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 16 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด รองลงมาคือความเข้มข้น 12 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร และความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยจะเห็นแนวโน้มว่าเมื่อแตงกวาได้รับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณมากขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราได้มากขึ้นเช่นกัน

3. การทดสอบประสิทธิภาพของสารนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าร้อยละของผลผลิตของแตงกวาเมื่อเปรียบเทียบกับแตงกวาที่ไม่ถูกกรดและฉีดพ่นด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่าความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร ให้ผลผลิตมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ แตงกวาที่ถูกกรดและฉีดพ่นด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 12 16 และ 4 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และแตงกวาที่ไม่ถูกกรดและฉีดพ่นด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีผลผลิตน้อยที่สุด ซึ่งจะพบว่าแตงกวาที่ได้รับปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสมจะให้ผลผลิตที่ดี และถ้าได้รับปริมาณน้อยไปก็จะให้ผลผลิตที่น้อย

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในผลแตงกวาด้วยเครื่อง SEM พบว่า ปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์บนผลแตงกวามากที่สุด คือ ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ รดและฉีดพ่นบนต้นแตงกวา 4 กรัม/ลิตร รองลงมา คือ ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รด และฉีดพ่นบนต้นแตงกวา 8 กรัม/ลิตร และความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่รดและฉีดพ่นบน ต้นแตงกวา 12 และ 16 กรัม/ลิตร

5.2 อภิปรายผล

การวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาการเจริญเติบโตและการป้องกันเชื้อราของแตงกวาเมื่อถูกรด ด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 4, 8, 12 และ 16 กรัม/ลิตร จากการศึกษาการเจริญเติบโต พบว่า ความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 8 กรัม/ลิตร มีการเจริญเติบโตมากที่สุด รองลงมา คือ 16, 4 และ 12 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และต้นแตงกวาที่ไม่ได้รดสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด โดยสัมพันธ์กับการทดสอบประสิทธิภาพโดยการหาค่าร้อยละของผลผลิต ของแตงกวาที่ถูกรดด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร ให้ผลผลิตมากที่สุด ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของทีมนักวิจัยวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กับนาข้าว พบว่าหลังจากนำเมล็ดพันธุ์ข้าวไปแช่ด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมน้ำเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำ เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการแช่นานาโนฯ ไปหว่านลงในแปลง เมื่อลองวัดการเจริญเติบโตทุกๆ 7 วัน พบว่า มีอัตราการงอกคิดเป็น 93% และพบว่าเมื่อหว่านจนครบ 6 สัปดาห์ ต้นข้าวที่แช่ด้วยอนุภาค นาโนซิงค์ออกไซด์สูง 85.17 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้แช่เกือบ 10 เซนติเมตร และข้าวแช่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลผลิตสูงถึง 660 กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่าเดิมที่ให้ผลผลิตเพียง 548 กิโลกรัมต่อไร่ และการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยวิธี poisoned food technique เมื่อทดสอบด้วยความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4, 8, 12 และ 16 กรัม/ลิตร พบว่า ความเข้มข้นของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 16 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ รามากที่สุด รองลงมาคือความเข้มข้น 12 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร และความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณหาการยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อรา มีค่า ร้อยละ 54.36, 52.68, 49.72 และ 48.07 ตามลำดับ ซึ่งตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือสารนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างการยับยั้งเชื้อราของสารนาโน ซิงค์ออกไซด์จากค่าสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่าที่ความ เข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 และ 8 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 8 และ 12 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ และความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 12 และ 16 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 4 และ 16 กรัม/ลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์ในแปลงแตงกวา สามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีและไม่แตกต่างกัน คือความเข้มข้น 12 และ 16 กรัม/ลิตร และจากการศึกษาวิจัยการป้องกันโรคราแป้งของแตงกวาโดยใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์นั้นพบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาการใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการป้องกันเชื้อราของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (วริษฐา ปานวงษ์และคณะ, 2557) และสอดคล้องกับงานวิจัยของหมู่บ้านยางพารานาโนเทคโนโลยี พระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยมีการผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในแผ่นยางพาราเพื่อป้องกันเชื้อรา พบว่าคุณสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราบนแผ่นยางพาราโดยการผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในน้ำยางพาราดิบ หลังจากนั้นนำน้ำยางที่ได้มารีดเป็นแผ่นยางแล้วนำไปตากในที่ที่ไม่มีลมพัดผ่าน สังเกตเชื้อราบนแผ่นยางพารา พบว่าชุดควบคุม แผ่นยางพารามีความยืดหยุ่นดี ไม่ฉีกขาดง่าย และมีรอยดอกยางเห็นเด่นชัด มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย และมีเชื้อรา 40 % ของแผ่นยางพารา สำหรับยางพาราที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แผ่นยางพาราที่ได้มีลักษณะสีใสสม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่นเหม็น และไม่พบเชื้อราบนแผ่นยางพารา (หมู่บ้านยางพารานาโนเทคโนโลยี พระจอมเกล้าลาดกระบัง , 2557) และจากงานการทดลองยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสีชมพูด้วยสารบอร์โดมิกเจอร์และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ของมะนาว (สุภารัตน์ สมคิด และคณะ, 2557) พบว่า เมื่อมีการฉีดพ่นสารบอร์โดมิกเจอร์และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนต้นมะนาวในครั้งที่ 2 และ 3 แล้ว ไม่พบเชื้อราสีชมพูบนกิ่งมะนาวแสดงว่าสารทั้งสองนี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสีชมพูบนกิ่งมะนาวได้ ซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้จะพบว่าสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้และสามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้จริง ดังนั้นการเลือกใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ก็ถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำไปต่อยอดกับพืชผลทางการเกษตรชนิดอื่นๆ และขณะเดียวกันปัจจุบันนี้การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีน้อย ถ้านำไปใช้ควรศึกษาผลกระทบเพิ่มเติม

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการนำสารนาโนซิงค์ออกไซด์ไปใช้กับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ
2. ควรศึกษาผลกระทบที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารนาโนซิงค์ออกไซด์

บรรณานุกรม

- จิตติ หนูแก้ว [online] ค้นพบสารนาโนให้มะนาวผลดก <http://www.komchadluek.net>
(ข้อมูลวันที่ 1 กันยายน 2558)
- รัชณี บุญเรือง. (2552) การยับยั้งราก่อโรคใบร่วงบนต้นยางพาราด้วยสารสกัดจากพืช
สารนิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตรศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- วิรัช ปานวงษ์ และคณะ. (2557) การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและป้องกันเชื้อราของ
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่รดด้วยสารละลายไคโตซานฉายรังสีและสารผสมนาโนซิงค์ออกไซด์
โครงการวิทยาศาสตร์. วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร
- ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีการเกษตร-ด้านช้าง. (2557) เด็ดขั้วมะนาวนาโน.
<http://www.nano.kmitl.ac.th>
- สุภารัตน์ สมคิดและคณะ. (2557) ผลของสารบอร์โดมิกเจอร์และนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้ง
การเจริญเติบโตของเชื้อราสีชมพู (*Corticiumsalmonicolor*) ของมะนาว.
โรงเรียนพระพรหมพิทยานุสรณ์
- สุภัทรา จามกระโทกและคณะ. (2547) ผลของสารสกัดจากกระชาย ขมิ้นและขิงต่อราสาเหตุโรค
พืชหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42.
(ก.พ.2547): 521-528
- สุพิน แสงสุข [online] นาโนซิงค์ออกไซด์
<http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=6> (ข้อมูลวันที่ 1 กันยายน 2558)
- สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม [online]
ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน
http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info_index.php?cat_id=2
(ข้อมูลวันที่ 1 กันยายน 2559)
- ศุภกร ภูเกิด1 อุดม ทิพราช1 และ ทิพวรรณ สายพิน วัสดุนาโน ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- หมู่บ้านยางพารานาโนเทคโนโลยี พระจอมเกล้าลาดกระบัง. (2557) <http://www.nano.kmitl.ac.th>
(ข้อมูลวันที่ 15 กันยายน 2558)

หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์ [online] จีดีพีสารสนเทศในนาข้าวเพิ่มผลผลิตได้ 20%. (2555)

<http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9550000079686>

(ข้อมูลวันที่ 1 สิงหาคม 2558)

อรสา ภัทรไพบุญชัย “การเตรียมและใช้งานซิงค์ออกไซด์นาโนในยางธรรมชาติ”

กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ : 2552

Dechsakulthorn, F., Hayes, A., Bakand, L. J. & Winder Ch.; **In vitro**

cytotoxicity assessment of selected nanoparticles using human skin fibroblasts.

AATEX 14, 397-400 (2007).

Heinlaan, M., Ivask, A., Blinova, I., Dubourguier, H-Ch., & Kahru, A.; **Toxicity**

of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia* and *Thamnocephalus platyurus*. Chemosphere 71, 1308-1316(2008).

Mercedes Conradi, Michael H. Depledge **Effects of zinc on the life-cycle, growth and**

reproduction of the marine amphipod *Corophium volutator*

Marine Ecology Progress Series 176:131-138 · January 1999

Nanotechnology Industries Association (NIA) **Interim Report for Prospect: Ecotoxicology**

Test Protocols for Representative Nanomaterials in Support of the OECD sponsorship Programme (2010b) December 2010.

Nanotechnology Industries Association (NIA), **Sponsorship Programme Meeting: Cerium**

Oxide & Zinc Oxide Update, a presentation for OECD meeting (2010a) Paris, July 2010.

Wang, B., Feng, W., Wang, M., Wang, T., Gu, Y., Zhu, M., Ouyang, H., Shi,

J., Zhang, F., Zhao, Y., Chai, Z, Wang, H. & Wang, J.; **Acute**

toxicological impact of nano- and submicro- scaled zinc oxide powder on healthy adult mice. J. Nano. Res. 10, [2], 263-276 (2008).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แสดงการดำเนินงาน

1. ขั้นตอนการเตรียมแปลงปลูก



ก. ฟาง



ข. เตรียมแปลงดิน



ค. เตรียมระบบน้ำ

รูปที่ ก.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมแปลงปลูก

2. ขั้นตอนการปลูกแตงกวาลงแปลง



ก.แสดงแปลงปลูก



ข.แสดงแปลงปลูก



ง. แสดงขวดผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์



ค. แสดงผลแตงกวา

รูปที่ ก.2 แสดงขั้นตอนการปลูกแตงกวาลงแปลง

3. อุปกรณ์เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ



ก. วุ้นผล



ข. มันฝรั่ง



ค. เตรียมอาหารวุ้น

รูปที่ ก.3 แสดงอุปกรณ์เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเจริญเติบโตต้นแตงกวา

สัปดาห์ที่ 1

วันที่	ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)														
	0			4			8			12			16		
	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง
1	4.1	6	14	4.2	6	17	4.2	6	16	4.2	6	13	4	6	14
2	4	5	11	4.2	6	15	4.3	6	16	3.9	6	15	4.5	6	15
3	3.8	5	11	3.9	5	14	4.2	6	15	4.6	6	14	4.5	6	14
4	3.7	5	11	4.5	5	13	4.5	6	13	4.4	6	14	4.2	6	15
5	3.6	5	12	4.5	6	14	5.4	6	17	4.9	6	13	4.3	6	14
6	3.4	5	12	4.2	6	14	4.2	6	16	4.3	6	14	4.2	5	15
7	3.4	6	12	3.8	6	15	3.8	6	17	4.2	6	16	4.2	6	15
8	3.6	5	13	4.6	6	16	4.6	6	15	4.6	6	15	4.6	6	15
9	3.4	6	13	4.4	6	17	4.4	6	13	4.4	5	13	4.4	6	15
10	4.9	6	13	4.9	6	16	4.9	6	16	4.4	5	11	4.9	5	14
เฉลี่ย	3.79	5.4	12.2	4.32	5.8	15.1	4.45	6	15.4	4.39	5.8	13.8	4.38	5.8	14.6

สัปดาห์ที่ 2

วันที่	ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)														
	0			4			8			12			16		
	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง
1	6.8	13	30	7.5	18	42	7.1	17	38	7.3	14	27	6.7	15	37
2	6.3	11	26	7.2	17	32	7.3	17	39	7.2	19	32	7.8	19	38
3	7	14	24	6.6	12	30	7.5	18	34	6.6	16	37	6.7	12	32
4	6.2	12	27	6.5	12	29	7.4	18	44	6.5	15	36	7.3	17	35
5	6.6	13	27	7.1	15	37	7.4	16	35	7.1	17	30	7.2	15	34
6	6.5	12	25	6.8	13	31	7.2	15	32	6.8	17	36	6.6	13	30
7	6.8	15	28	6.4	12	32	6.8	12	30	6.4	17	35	6.5	15	36
8	6.5	12	27	6.7	13	38	7.5	18	37	6.7	13	33	6.8	15	34
9	7.2	17	37	6.7	13	37	7.4	16	38	6.2	9	25	6.8	15	37
10	6.6	13	35	6.2	10	39	7.8	16	34	6.7	11	23	6.4	12	30
เฉลี่ย	6.65	13.2	28.6	6.77	13.5	34.7	7.34	16.3	36.1	6.75	14.8	31.4	6.88	14.8	34.3

สัปดาห์ที่ 3

วันที่	ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)														
	0			4			8			12			16		
	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง
1	9.9	55	90	9.9	53	95	10.2	65	94	9.7	59	82	9.7	52	82
2	9.3	44	90	9.9	53	98	11.2	72	77	9.6	55	70	9.7	57	110
3	9.2	41	85	9.6	52	94	11	70	103	10.2	63	87	8.9	34	87
4	9.2	43	75	9.5	48	80	10.5	64	91	9.5	58	90	10.3	64	85
5	9	39	70	10.2	56	96	11.4	75	91	10.1	61	100	9.6	39	80
6	8.9	35	78	9.8	47	92	11.3	74	85	9.8	60	88	9.6	39	88
7	9.8	52	70	9.4	47	92	11.2	72	94	9.4	55	70	9.5	42	110
8	9.5	46	76	9.7	59	89	10.5	70	85	10.4	63	88	9.8	46	80
9	9.4	47	88	9.7	41	88	10.9	72	100	9.2	42	67	9.8	48	105
10	9.6	45	90	9.2	58	89	10.8	70	97	9.7	32	75	9.4	47	80
เฉลี่ย	9.38	44.7	81.2	9.69	51.4	91.3	10.9	70.4	91.7	9.76	54.8	81.7	9.63	46.8	90.7

สัปดาห์ที่ 4

วันที่	ความเข้มข้นสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม/ลิตร)														
	0			4			8			12			16		
	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง	ขนาด	จำนวน ใบ	ความ สูง
1	13.1	84	120	12.9	78	106	13.4	101	130	12.7	85	100	12.9	79	103
2	12.3	77	116	12.9	64	112	13.9	106	102	12.6	78	115	12.7	83	125
3	12.2	60	110	12.6	73	112	13.2	90	123	13.2	84	110	11.9	66	132
4	12.2	70	105	12.5	68	112	14.2	105	113	12.5	74	100	13.8	98	124
5	12	63	106	13.2	85	99	14.6	103	120	13.1	91	130	12.6	60	94
6	11.9	69	117	12.8	69	110	13.2	97	117	12.8	93	120	12.6	72	120
7	12.8	85	100	13	81	99	14.5	109	110	13.4	94	100	12.5	72	90
8	12.5	71	105	12.7	75	121	13.6	102	100	13.1	93	130	13.2	79	120
9	12.4	70	112	12	65	119	14.8	115	120	12.5	65	80	12.8	73	105
10	12.6	80	113	12.9	80	128	13.7	97	100	12.9	69	105	12.4	72	120
เฉลี่ย	12.4	72.9	110.4	12.75	73.8	111.8	13.91	102.5	113.5	12.88	82.6	109	12.74	75.4	113.3

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากเครื่อง SEM

1.แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

แสดงภาพที่ไม่ได้รูดสารนาโนซึ่งคือออกไซด์

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
Type	Wt%	%	%	ions	
C K	ED	20.50	28.11	CO ₂	75.12 0.80
Mg K	ED	0.48	0.33	MgO	0.80 0.01
Si K	ED	0.33	0.20	SiO ₂	0.72 0.01
P K	ED	2.64	1.40	P ₂ O ₅	6.04 0.04
S K	ED	0.44	0.23	SO ₃	1.09 0.01
Cl K	ED	1.68	0.78		0.00 0.02
K K	ED	9.08	3.82	K ₂ O	10.93 0.11
Ca K	ED	2.58	1.06	CaO	3.60 0.03
Zn K	ED	0.00	0.00	ZnO	0.00 0.00
O		62.27	64.08		1.82
Total		100.00	100.00		98.32

Anion sum 1.85

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 4 g/l ครั้งที่ 1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
	Type	Wt%	%	%	ions
C K	ED	22.15	29.59	CO2	81.15 0.81
Na K	ED	0.04	0.03	Na2O	0.05 0.01
Mg K	ED	0.36	0.24	MgO	0.60 0.01
Si K	ED	0.10	0.05	SiO2	0.20 0.01
P K	ED	1.73	0.90	P2O5	3.97 0.03
S K	ED	0.44	0.22	SO3	1.09 0.01
Cl K	ED	1.01	0.46		0.00 0.01
K K	ED	9.76	4.01	K2O	11.76 0.11
Zn K	ED	0.12	0.03	ZnO	0.15 0.01
O		64.28	64.48		1.84
Total		100.00	100.00		98.99
Anion sum				1.85	

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 4 g/l ครั้งที่ 2

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
	Type	Wt%	%	%	ions
C K	ED	21.15	28.56	CO2	77.50 0.81
Na K	ED	0.14	0.10	Na2O	0.19 0.00
Mg K	ED	0.68	0.45	MgO	1.12 0.01
Si K	ED	0.52	0.30	SiO2	1.10 0.01
P K	ED	2.05	1.07	P2O5	4.69 0.03
S K	ED	0.93	0.47	SO3	2.33 0.01
Cl K	ED	0.65	0.30		0.00 0.01
K K	ED	9.82	4.07	K2O	11.82 0.12
Ca K	ED	0.36	0.15	CaO	0.51 0.00
Zn K	ED	0.07	0.02	ZnO	0.09 0.00
O		63.64	64.51		1.83
Total		100.00	100.00		99.35
				Anion sum	1.84

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 8 g/l ครั้งที่ 1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (6 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic			Compound	Nos. of
	Type	%	%	%	ions		
C K	ED	20.75	28.16	CO2	76.01	0.81	
Na K	ED	0.08	0.05	Na2O	0.10	0.00	
Mg K	ED	0.72	0.48	MgO	1.19	0.01	
Si K	ED	0.20	0.11	SiO2	0.42	0.00	
P K	ED	3.13	1.65	P2O5	7.18	0.05	
S K	ED	0.74	0.37	SO3	1.84	0.01	
Cl K	ED	1.12	0.51		0.00	0.01	
K K	ED	9.31	3.88	K2O	11.22	0.11	
Ca K	ED	0.57	0.23	CaO	0.80	0.01	
Zn K	ED	0.10	0.02	ZnO	0.12	0.00	
O		63.29	64.51		1.84		
Total		100.00	100.00		98.88		
Anion sum					1.86		

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 8 g/l ครั้งที่ 2

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
	Type	Wt%	%	%	ions
C K	ED	21.28	28.79	CO2	77.98 0.82
Na K	ED	0.11	0.08	Na2O	0.15 0.00
Mg K	ED	0.45	0.30	MgO	0.74 0.01
Si K	ED	0.24	0.14	SiO2	0.51 0.00
P K	ED	1.96	1.03	P2O5	4.50 0.03
S K	ED	0.76	0.38	SO3	1.89 0.01
Cl K	ED	1.27	0.58		0.00 0.02
K K	ED	9.82	4.08	K2O	11.82 0.12
Ca K	ED	0.75	0.30	CaO	1.05 0.01
Zn K	ED	0.05	0.01	ZnO	0.07 0.00
O		63.30	64.29		1.83
Total		100.00	100.00		98.73
Anion sum				1.85	

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 12 g/l ครั้งที่ 1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (6 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
Type	%	%	%	ions	
C K	ED	21.30	28.69	CO ₂	78.06 0.82
Na K	ED	0.16	0.12	Na ₂ O	0.22 0.00
Mg K	ED	0.52	0.35	MgO	0.87 0.01
Si K	ED	0.39	0.22	SiO ₂	0.83 0.01
P K	ED	2.33	1.22	P ₂ O ₅	5.34 0.03
S K	ED	0.76	0.38	SO ₃	1.89 0.01
Cl K	ED	1.18	0.54		0.00 0.02
K K	ED	8.23	3.40	K ₂ O	9.91 0.10
Ca K	ED	1.12	0.45	CaO	1.57 0.01
Zn K	ED	0.10	0.03	ZnO	0.13 0.00
O		63.90	64.60		1.85
Total		100.00	100.00		98.82
Anion sum				1.87	

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 12 g/l ครั้งที่ 2

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
Type	Wt%	%	%	ions	
C K	ED	21.78	29.12	CO ₂	79.80 0.83
Na K	ED	0.16	0.11	Na ₂ O	0.21 0.00
Mg K	ED	0.74	0.49	MgO	1.22 0.01
Si K	ED	0.11	0.06	SiO ₂	0.23 0.00
P K	ED	1.97	1.02	P ₂ O ₅	4.51 0.03
S K	ED	0.75	0.38	SO ₃	1.87 0.01
Cl K	ED	0.93	0.42		0.00 0.01
K K	ED	8.23	3.38	K ₂ O	9.91 0.10
Ca K	ED	0.91	0.36	CaO	1.27 0.01
Zn K	ED	0.04	0.01	ZnO	0.05 0.00
O		64.40	64.65		1.85
Total		100.00	100.00		99.07
				Anion sum	1.86

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 16 g/l ครั้งที่ 1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
Type	%	%	%	ions	
C K	ED	21.95	29.28	CO ₂	80.43 0.84
Na K	ED	0.19	0.13	Na ₂ O	0.25 0.00
Mg K	ED	0.56	0.37	MgO	0.94 0.01
Si K	ED	0.57	0.33	SiO ₂	1.23 0.01
P K	ED	1.38	0.72	P ₂ O ₅	3.17 0.02
S K	ED	0.87	0.43	SO ₃	2.17 0.01
Cl K	ED	1.11	0.50		0.00 0.01
K K	ED	8.11	3.32	K ₂ O	9.77 0.10
Ca K	ED	0.62	0.25	CaO	0.87 0.01
Zn K	ED	0.05	0.01	ZnO	0.06 0.00
O		64.58	64.66		1.86
Total		100.00	100.00		98.89
Anion sum					1.87

* = <2 Sigma

ความเข้มข้น 16 g/l ครั้งที่ 2

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).

Analysed elements combined with: O (Valency: -2)

Method : Stoichiometry Normalised results.

Nos. of ions calculation based on 1 cations per formula.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Compound	Nos. of
Type	Wt%	%	%	ions	
C K	ED	19.27	27.07	CO ₂	70.61 0.75
Na K	ED	0.14	0.10	Na ₂ O	0.18 0.00
Mg K	ED	0.56	0.39	MgO	0.93 0.01
Si K	ED	0.16	0.09	SiO ₂	0.34 0.00
P K	ED	2.33	1.27	P ₂ O ₅	5.33 0.04
S K	ED	1.35	0.71	SO ₃	3.37 0.02
Cl K	ED	1.25	0.59		0.00 0.02
K K	ED	14.09	6.08	K ₂ O	16.98 0.17
Ca K	ED	0.64	0.27	CaO	0.89 0.01
Zn K	ED	0.09	0.02	ZnO	0.12 0.00
O		60.12	63.40		1.76
Total		100.00	100.00		98.75
Anion sum				1.78	

* = <2 Sigma

ภาคผนวก ง

ข้อมูลแสดงพิษวิทยาของสารนาโนซิงค์ออกไซด์



Material Safety Data Sheet

NanoActive[®] Zinc Oxide

MSDS-0005.5

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:

NanoActive[®] Zinc Oxide

Manufacturer:

NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information:

(785) 537-0179

24-Hour Chemtrec Emergency Number:

U.S. (800) 424-9300

International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

<u>Component</u>	<u>CAS Number:</u>	<u>OSHA PEL:</u>	<u>ACGIH TLV:</u>
Zinc oxide	1314-13-2	15 mg/m ³ dust	10 mg/m ³ dust

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and odor: Odorless, white powder.

Routes of Exposure: Eye and skin contact inhalation, ingestion.

Eye Contact: May cause moderate irritation.

Skin Contact: May cause skin irritation.

Inhalation: Zinc oxide dust is considered to be of low toxicity and is classified as a nuisance particulate by the ACGIH. May cause irritation.

Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea.

Acute health hazards: Inhalation of dust may cause irritation of mucus membranes and the upper respiratory tract.

Chronic Health Effects: Prolonged and repeated exposure to skin may cause irritation or dermatitis.

Carcinogen status: NTP: No, IARC: No, OSHA: No



Material Safety Data Sheet

Nano.Active® Zinc Oxide

MSDS-0065.5

4. FIRST AID MEASURES

Skin: In case of skin contact, flush with copious amounts of soap and water.

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air. If breathing is difficult, give oxygen. If breathing has stopped, give artificial respiration. DO NOT use mouth-to-mouth respiration.

Eyes: In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating eyelids with fingers. Seek medical attention.

Ingestion: Do NOT induce vomiting. If conscious and alert, rinse mouth and drink 2-4 cupfuls of water or milk.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Zinc oxide is neither flammable nor explosive. Zinc oxide may be exposed to water, carbon dioxide, dry chemical, and foam extinguishing agents as necessary during firefighting operations. Full protective gear and a NIOSH approved self-contained breathing apparatus (SCBA) should be used to protect eyes, skin, and lungs from exposure during firefighting operations around zinc oxide. During a fire, irritating and highly toxic gases, such as zinc oxide fume, may be generated by thermal decomposition or combustion.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Cleanup spills immediately using appropriate protective equipment. Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Avoid generating dust during transfer of solids. Provide adequate ventilation.

7. HANDLING AND STORAGE

Store in a closed container and in a cool, dry location. Use dust control and protection in handling and storage. Avoid storage near magnesium, rubber, and strong oxidizers.



Material Safety Data Sheet

NanoActive® Zinc Oxide

MSDS-0005.5

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Use adequate general or local exhaust ventilation to keep airborne solids concentrations below the permissible exposure limits.

Respiratory Protection: Use NIOSH approved respirator when use is necessary.

Skin Protection: Wear appropriate protective gloves.

Eye Protection: Wear appropriate protective glasses or chemical safety goggles.

Other Protective Equipment: Wear appropriate protective clothing to minimize contact with skin.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Color/Appearance: White powder

Odor: None

Molecular Weight: 81.37

Boiling Point: No data

Melting Point: 1975° C

Specific Gravity: 5.607 at 20° C

Vapor Pressure: No data

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable under normal temperature and pressures.

Hazardous Polymerization: None reported.

Incompatibility: Chlorinated rubber, linseed oil, magnesium, hydrogen fluoride, aluminum + hexchloroethane, zinc chloride or phosphoric acid.

Decomposition Products: Toxic gases such as zinc oxide fumes may be released in a fire.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute Oral Toxicity: LD₅₀ > 2 g/kg

Acute Dermal Toxicity: LD₅₀ > 5 g/kg

Acute Dermal Irritation: PII = 0, non-irritating

Skin Sensitization: Non-sensitizer

Acute Eye Irritation: Moderately irritating



Material Safety Data Sheet

Nano.Active® Zinc Oxide

MSDS-0005.5

12. ECOLOGICAL INFORMATION

None available.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal of zinc oxide should be in accordance with applicable local, state, and federal regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

(49 CFR 172.101-2): Not listed.

15. REGULATORY INFORMATION

TSCA: Zinc Oxide is listed in the TSCA inventory.

SARA (Title 313): No reporting requirements.

CERCLA RQ: None

This MSDS has been prepared to meet the U.S. OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

16. OTHER INFORMATION

The above information is believed to be correct but does not purport to be all-inclusive and shall be used only as a guide. NanoScale Corporation makes no warranty with respect hereto and disclaims all liability from reliance thereon. The information is intended for use by persons with professional knowledge of the subject matter or with access to such persons. Persons receiving this information are urged to conduct their own assessment of the suitability and completeness of the information for their particular application.

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นางสาวสุปราณี พิศมัย
Miss Supranee Pitsamai
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3670100416895
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัยสายวิชาการ)
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail)

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ตำบลสะเดียง อำเภอเมือง
จังหวัดเพชรบูรณ์ รหัสไปรษณีย์ 67000
โทรศัพท์ และโทรสาร 056-717147
Email supranee_pit@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย
ในแต่ละผลงานวิจัย
 - โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปเรื่อง การ
ชนและโมเมนตัม สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ แหล่ง
ทุน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีที่พิมพ์ 2553
 - โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะภาคปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ 1 โดยใช้ชุด
กิจกรรมอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ สำหรับนักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
 - โครงการวิจัย เรื่อง การสร้างเครื่องวัดระดับเสียงอย่างง่าย แหล่งทุน มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชาฟิสิกส์ จังหวัดเชียงใหม่ งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2552

- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนากระบวนการประกันคุณภาพการศึกษาที่สอดคล้องกับการปฏิรูปการศึกษาใน ทศวรรษที่ 2 สำหรับสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน แหล่งทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2555

- โครงการวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบความพร้อมในการจัดการศึกษาระหว่างสถานศึกษาในสังกัดคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและสถานศึกษาในสังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น: สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ. 2556

- โครงการวิจัยเรื่อง ผลของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อราแป้งของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ แหล่งทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2558